

TITLE OF THE INVENTION

オブティカルインテグレータ、照明光学装置、露光装置及び観察装置

BACKGROUND OF THE INVENTIONField of the invention

本発明は、波面分割型のオブティカルインテグレータおよび該オブティカルインテグレータを備えた照明光学装置、及びこの照明光学装置を用いた露光装置や観察装置（顕微鏡）などに好適な照明光学装置に関するものである。

Related Background Art

半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスを製造するための典型的な露光装置においては、光源から射出された光束がマイクロフライアイに入射し、その後側焦点面に多数の光源からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、マイクロフライアイの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重疊的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介して感光性基板上に結像する。こうして、感光性基板上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されるパターンは高集積化されており、この微細パターンを感光性基板上に正確に転写するには感光性基板上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

なお、マイクロフライアイは、稠密に且つ縦横に配列された多数の微小レンズからなる波面分割型のオブティカルインテグレー

タである。一般に、マイクロフライアイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。ここで、マイクロフライアイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。

SUMMARY OF THE INVENTION

上述したように、微細パターンを感光性基板上に転写するための露光装置の場合、マスク上および感光性基板上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。したがって、照度むらを低減するために、マイクロフライアイを構成する微小レンズの数を多くすることが、すなわち波面分割数を多くすることが望まれている。

また、エッチングなどでマイクロフライアイを製造する場合には、ガラス板を深くエッチングすることは困難であり、各微小レンズのサイズを小さくするほうが製造し易い。しかしながら、各微小レンズのサイズを単に小さくすると、各微小レンズの入射面に対する回折限界分だけ、その入射面と光学的に共役な被照射面に形成される照野において周辺の照度が低下するという不都合がある。

本発明は、各微小レンズのサイズを小さくして波面分割数を大きく設定しても、形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることのできる、波面分割型のオブティカルインテグレートおよび該オブティカルインテグレートを備えた照明光学装置、該照明光学装置を備えた露光装置及び観察装置を提供することを目的とする。

第1の発明に係るオブティカルインテグレートは、二次元的に

配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオブティカルインテグレータであって、各微小レンズは、矩形の入射面および矩形の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方の辺の長さを d_1 とし、各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、各微小レンズの射出面において入射面の一方の辺に対応する辺の長さを D_1 とし、各微小レンズの射出面において入射面の他方の辺に対応する辺の長さを D_2 とし、入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とする。

また、上記オブティカルインテグレータは、入射面の一方の辺の長さ d_1 は、入射面の他方の辺の長さ d_2 より大きく、

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴としても良い。

第2の発明に係るオブティカルインテグレータは、二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオブティカルインテグレータであって、各微小レンズは、矩形の入射面、および円形状または正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方の辺の長さを d_1 とし、各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、各微小レンズの円形状の射出面の直径または正六角形状の射出面に外接する円の直径を D とし、入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とする。

また、上記オブティカルインテグレータは、入射面の一方の辺の長さ d_1 は、入射面の他方の辺の長さ d_2 より大きく、

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴としても良い。

第3の発明に係るオブティカルインテグレータは、二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオブティカルインテグレータであって、各微小レンズは、直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の入射面、および直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の射出面を有し、各微小レンズの焦点距離を f とし、入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d/2)^2/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とする。

第4の発明に係る照明光学装置は、光源からの光束に基づいて被照射面を照明するための照明光学装置であって、光源と被照射面との間の光路中に配置されて、光源からの光束に基づいて多数の光源を形成するための上記オブティカルインテグレータと、オブティカルインテグレータと被照射面との間の光路中に配置されて、オブティカルインテグレータによって形成された多数の光源からの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えていることを特徴とする。

また、上記照明光学装置において、導光光学系は、オブティカルインテグレータと被照射面との間の光路中に配置されて、オブティカルインテグレータによって形成された多数の光源からの光

束を集光して照野を重疊的に形成するためのコンデンサー光学系と、コンデンサー光学系と被照射面との間の光路中に配置されて、照野からの光束に基づいて被照射面の近傍に照野の像を形成するための結像光学系と、結像光学系の光路中において多数の光源の形成位置と光学的にほぼ共役な位置に配置されて、不要な光束を遮るための開口絞りとを有することを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレート中の各微小レンズは、被照射面上においてほぼ均一な照度を得るために、基準光軸に対して平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面を有することを特徴としても良い。このようにオブティカルインテグレートの各微小レンズ要素に非球面を導入することにより、光学設計上のパラメータが増えるので、所望の設計解が得られ易くなり、特に収差補正の観点から設計自由度を向上させることができる。したがって、オブティカルインテグレートにおいて、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることができる。その結果、多光源形成手段としてのオブティカルインテグレートに起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。

また、第4の発明においては、オブティカルインテグレートの各微小レンズが、少なくとも1つの非球面の屈折面を有する場合には、第1の発明に係る入射面及び射出面の形状に関する条件を満たさなくても、上記の作用が得られる。すなわち、第4の発明に係る照明光学装置は、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことを目的としており、照明光を供給

09703727.110200

5

するための光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段と、多数の光源からの光束を被照射面または該被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサー光学系とを備えた照明光学装置であって、多光源形成手段は、多数の微小レンズ要素を有する波面分割型オプティカルインテグレータを有し、波面分割型オプティカルインテグレータ中の各微小レンズ要素は、被照射面上においてほぼ均一な照度を得るために、基準光軸に対して実質的に平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面を有することを特徴としても良い。

15

また、上記照明光学装置において、オプティカルインテグレータは、基準光軸に対して平行な多数の軸線をそれぞれ光軸とする多数の合成光学系を有し、非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面は、合成光学系におけるコマ収差の発生を良好に抑えるために、所定の非球面状に形成されていることを特徴としても良い。

20

また、上記照明光学装置は、オプティカルインテグレータの入射側に隣接して、被照射面上における照度ムラを補正するために所定の光透過率分布を有するフィルタが配置され、オプティカルインテグレータとフィルタとに接続されて、オプティカルインテグレータとフィルタとを位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることを特徴としても良い。この場合、位置合わせ手段は、波面分割型オプティカルインテグレータに形成されたアライメントマークと、フィルタに形成されたアライメントマークとを有することが好ましい。

25

また、上記照明光学装置は、オプティカルインテグレータの射

出面に隣接して、開口部の大きさを変化させることができる虹彩絞りが配置されていることを特徴としても良い。

5 また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレータは、基準光軸に沿って間隔を隔てて配置された少なくとも2つの光学要素束を有し、少なくとも2つの光学要素束は、非球面状の光学面を有することを特徴としても良い。

10 また、上記照明光学装置において、少なくとも2つの光学要素束は、それぞれ軸線に沿って対応する少なくとも2つの微小光学要素からなる多数の合成光学系を有し、合成光学系中のすべての光学面は、互いに同じ性状を有する非球面状に形成されていることを特徴としても良い。

15 また、上記照明光学装置は、少なくとも2つの光学要素束に接続されて、少なくとも2つの光学要素束を互いに位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることを特徴としても良い。この場合、位置合わせ手段は、少なくとも2つの光学要素束の各々に形成されたアライメントマークを有することが好ましい。また、波面分割型オブティカルインテグレータの入射側に隣接して、被照射面上における照度ムラを補正するために所定の光透過率分布を有するフィルタが配置され、位置合わせ手段は、少なくとも20 2つの光学要素束とフィルタとを位置合わせするために、フィルタに形成されたアライメントマークを有することが好ましい。

 また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレータは、1000以上の前記軸線を有することを特徴としても良い。

25 また、上記照明光学装置は、オブティカルインテグレータと光源手段との間の光路中の位置であって被照射面と共役な位置または該位置の近傍に配置されて、光源像を拡大させる光源像拡大手

段を有することを特徴としても良い。このように光源像拡大手段を有する構成を採用することにより、照明光学装置中の光学部材へのダメージを低減させることである。

また、上記照明光学装置において、光源像拡大手段を経た光束の発散角は、オブティカルインテグレータにおいて照明光の損失が生じないように定められることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレータは、2次元状に配列されて、それぞれが光源像を形成する複数のレンズ面を有し、光源像拡大手段は、レンズ面を介して形成される光源像を拡大し、光源像拡大手段の発散角は、拡大される光源像がレンズ面よりも小さくなるように定められることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレータは、2次元状に配列されて、それぞれが光源像を形成する複数のレンズ面を有することを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、光源像拡大手段のニアフィールドにおける照度分布は実質的に均一であることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、光源像拡大手段のファーフールドに形成されるパターンは一つであることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、光源像拡大手段のファーフールドパターンは、円形状、楕円形状、または多角形状であることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置の瞳には、瞳上の領域であって光軸を含む瞳中心領域での光強度が該瞳中心領域の周囲の領域よりも小

さく設定された光強度分布を有する２次光源が形成されることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置は、光源手段とオブティカルインテグレートとの間に配置されて、照明光学装置の瞳に形成される２次光源の形状を制御するための回折光学素子をさらに有することを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置は、２次光源の形状を制御するための回折光学素子とオブティカルインテグレートとの間に配置されて、２次光源の形状を制御するための回折光学素子からの０次光を遮光するための０次光遮光手段を有することを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレートは、２次元的に配列された複数のレンズ面と、該複数のレンズ面の入射側に配置された入射側カバーガラスとを備え、０次光遮光手段は入射側カバーガラスに設けられることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、光源像拡大手段は、回折光学素子または拡散板を有することを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、回折光学素子または拡散板の表面上には、照明光の波長に対する反射防止膜が施されることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレートは、２次元的に配列された複数のレンズ面と、該複数のレンズ面の射出側に配置された射出側カバーガラスとを備え、該射出側カバーガラスには、複数のレンズ面とは異なる領域を通過して被照射面側へ向かう光を遮光するための遮光部材が設けられることを特徴としても良い。

5

また、上記照明光学装置は、光源手段と被照射面との間の光路中に配置されて、表面に複数のレンズ面が形成された基板からなるマイクロフライアイを備え、該マイクロフライアイのレンズ面には、照明光に対する反射防止膜が施されることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置は、光源手段とオブティカルインテグレートとの間に配置されて、複数の光源像のフーリエ変換像のそれぞれの強度分布を独立に制御するための照度分布補正手段を備えることを特徴としても良い。

09703727.110200

5

また、上記照明光学装置において、オブティカルインテグレートは、2次元的に配列された複数のレンズ面と、該複数のレンズ面の入射側に配置された入射側カバーガラスと、複数のレンズ面の射出側に配置された射出側カバーガラスとを備え、照度分布補正手段は入射側カバーガラスと射出側カバーガラスとの間の光路中に配置されることを特徴としても良い。

また、上記照明光学装置は、被照射面上に所定方向の長さとは該所定方向に直交する方向の長さとは異なる形状の照明領域を形成することを特徴としても良い。

20

また、上記照明光学装置において、反射防止膜は、フッ化アルミニウム；フッ化バリウム；フッ化カルシウム；フッ化セリウム；フッ化セシウム；フッ化エルビウム；フッ化ガドリウム；フッ化ハフニウム；フッ化ランタン；フッ化リチウム；フッ化マグネシウム；フッ化ナトリウム；クリオライト；チオライト；フッ化ネオジム；フッ化鉛；フッ化スカンジウム；フッ化ストロンチウム；フッ化テルビウム；フッ化トリウム；フッ化イットリウム；フッ化イッテルビウム；フッ化サマリウム；フッ化ジスプロシウム；

25

09703727_110200

5

フッ化ブラセオジウム；フッ化ユーロビウム；フッ化ホルミウム；
フッ化ビスマス；ポリテトラフルオロエチレン，ポリクロロトリ
フルオロエチレン，ポリフッ化ビニル，フッ化エチレンプロピレ
ン樹脂，ポリフッ化ビニリデン，及びポリアセタールからなる群
から選択された少なくとも 1 つの材料からなるフッ素樹脂；酸化
アルミニウム；酸化シリコン；酸化ゲルマニウム；酸化ジルコニ
ウム；酸化チタン；酸化タンタル；酸化ニオブ；酸化ハフニウム；
酸化セリウム；酸化マグネシウム；酸化ネオジウム；酸化ガドリニ
ウム；酸化トリウム；酸化イットリウム；酸化スカンジウム；酸
化ランタン；酸化ブラセオジウム；酸化亜鉛；酸化鉛；酸化シリコ
ンの群から選ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複化合
合物群；及び酸化ハフニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料か
らなる混合物群及び複化合物群；酸化アルミニウムの群から選
ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複化合物群；から
選ばれた 1 種類以上の成分を有することを特徴としても良い。

5

また、上記照明光学装置において、光源手段は、波長 200 nm
以下の照明光を供給することを特徴としても良い。

20

また、上記照明光学装置において、回折光学素子またはマイク
ロフライアイは、フッ素がドーブされた石英ガラスを有すること
を特徴としても良い。

25

第 5 の発明に係る照明光学装置は、光源からの光束によって被
照射面を照明するための照明光学装置であって、光源と被照射面
との間の光路中に配置された複数の光学的要素を含み、少なくと
も 1 つの光学的要素は、少なくとも 1 つの光学的要素に設けられ
て、少なくとも 1 つの光学的要素を光学的に位置合わせするため
の位置合わせ手段を備えることを特徴とする。

上記照明光学装置において、位置合わせ手段は、光源を被照射面との間の光路外に設けられることを特徴としても良い。

第6の発明に係る照明光学装置は、光源からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置であって、光源と被照射面との間の光路中に配置されて、表面に複数のレンズ面が形成された基板を有するマイクロフライアイと、マイクロフライアイと被照射面との間の光路中に配置されて、マイクロフライアイからの光束を被照射面または被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサ光学系とを備え、マイクロフライアイのレンズ面には、照明光に対する反射防止膜が施されることを特徴とする。このように反射防止膜を設けることにより、被照射面への照明効率の向上を図ることができる。

また、上記照明光学装置において、反射防止膜は、フッ化アルミニウム；フッ化バリウム；フッ化カルシウム；フッ化セリウム；フッ化セシウム；フッ化エルビウム；フッ化ガドミウム；フッ化ハフニウム；フッ化ランタン；フッ化リチウム；フッ化マグネシウム；フッ化ナトリウム；クリオライト；チオライト；フッ化ネオジム；フッ化鉛；フッ化スカンジウム；フッ化ストロンチウム；フッ化テルビウム；フッ化トリウム；フッ化イットリウム；フッ化イッテルビウム；フッ化サマリウム；フッ化ジスプロシウム；フッ化アラセオジム；フッ化ユーロビウム；フッ化ホルミウム；フッ化ビスマス；ポリテトラフルオロエチレン、ポリクロロトリフルオロエチレン、ポリフッ化ビニル、フッ化エチレンプロピレン樹脂、ポリフッ化ビニリデン、及びポリアセタールからなる群から選択された少なくとも1つの材料からなるフッ素樹脂；酸化アルミニウム；酸化シリコン；酸化ゲルマニウム；酸化ジルコニ

09703727.110200
5 ウム；酸化チタン；酸化タンタル；酸化ニオブ；酸化ハフニウム；酸化セリウム；酸化マグネシウム；酸化ネオジム；酸化ガドリニウム；酸化トリウム；酸化イットリウム；酸化スカンジウム；酸化ランタン；酸化プラセオジム；酸化亜鉛；酸化鉛；酸化シリコンの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；及び酸化ハフニウムの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；酸化アルミニウムの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；から選ばれた1種類以上の成分を有することを特徴としても良い。

第7の発明に係る照明光学装置は、光源からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置であって、光源と被照射面との間の光路中に配置されて、表面に複数のレンズ面が形成された基板を有するマイクロフライアイと、マイクロフライアイと被照射面との間の光路中に配置されて、マイクロフライアイからの光束を被照射面または被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサ光学系と、マイクロフライアイの射出側に配置されて、照明光を透過させる材料で形成された射出側保護部材とを備え、射出側保護部材は、射出側保護部材に設けられて、マイクロフライアイの複数のレンズ面とは異なる領域を通過して被照射面側へ向かう光を遮光するための遮光部材を有することを特徴とする。このように遮光部材を設け、マイクロフライアイのレンズ面とは異なる領域を通過した光を遮光することにより、結像性能を向上させることができる。

また、上記照明光学装置において、オプティカルインテグレートは、マイクロフライアイの入射側に配置された入射側カバーガラスを備えることを特徴としても良い。

09703727.110200

5

第 8 の発明に係る照明光学装置は、第 1 面に配置されるマスク上のパターンの像を、第 2 面に配置される感光性基板上に形成する投影光学系を備えた露光装置と組み合わせることが可能であり、かつ光源からの光束によって第 1 面を照明するための照明露光装置であって、光源と第 1 面との間に配置されて、光源からの光束を分割して、該分割された多数の光束を所定面上の領域である照視野上で重畳させる多数光束重畳手段と、多数光束重畳手段と第 1 面との間に配置されて、第 1 面上または第 1 面近傍に照野の像を形成する照明結像光学系とを備え、照明結像光学系は、投影光学系の瞳と光学的に共役な位置に配置された開口絞りを有することを特徴とする。

また、上記照明光学装置において、多数光束重畳手段は、光源からの光束を波面分割することを特徴としても良い。

5

第 9 の発明に係る露光装置は、マスクのパターンを感光性基板上で投影露光する露光装置であって、上記記載の照明光学装置を備え、被照射面は、感光性基板上に設定されることを特徴とする。

20

上記照明光学装置を組み込んだ投影露光装置では、被照射面である感光性基板の露光面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。その結果、良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

25

第 10 の発明に係る露光装置は、第 1 面上に配置されたマスクのパターンを第 2 面上に配置されるワーク上へ転写する露光装置であって、第 1 面を照明するための上記照明光学装置と、第 1 面と第 2 面との間の光路中に配置されて、マスクのパターンをワーク上へ投影露光するための投影露光装置とを備え、照明光学装置は、光源とオブティカルインテグレータとの間の光路中に配置さ

れて、オブティカルインテグレータへ入射する光束の光強度分布を変更するための光強度分布変更手段をさらに備えていることを特徴とする。

第 1 1 の発明に係る露光装置は、パターンが形成されたマスクを所定波長域の照明光で照明して、パターンの像を投影光学系を介して基板上に結像させる露光装置において、マスクに対して照明光を供給するために上記照明光学装置を備えることを特徴とする。

また、上記露光装置において、マスク上の照明領域は、所定方向の長さと同所定方向に直交する方向の長さが異なる形状を有し、マスクと照明領域との相対的な位置関係を変更しつつ露光を行うことを特徴としても良い。

第 1 2 の発明に係る露光方法は、パターンが形成されたマスクを所定波長域の照明光で照明して、パターンの像を投影光学系を介して基板上に結像させる露光方法において、上記照明光学装置を用いてマスクに対して照明光を供給することを特徴とする。このように上記照明光学装置を用いることにより、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。

第 1 3 の発明に係る観察装置は、被観察物体の像を形成する観察装置において、被観察物体を照明するための上記照明光学装置と、被観察物体と像との間に配置されて、被観察物体を経由した光に基づいて被観察物体の像を形成するための結像光学系と、を備えることを特徴とする。

第 1 4 の発明に係る照明光学装置は、光源からの照明光で被照

射面を照明する照明光学装置であって、光源と被照射面との間の光路中に配置されて、光源からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオブティカルインテグレータと、オブティカルインテグレータと被照射面との間に配置されて、オブティカルインテグレータからの光束を被照射面または被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサ光学系と、光源と被照射面との間の光路中に配置された回折光学素子とを有し、回折光学素子の表面には、照明光に対する反射防止膜が施されることを特徴とする。このように反射防止膜を設けることにより、被照射面への照明効率の向上を図ることができる。

また、上記照明光学装置において、反射防止膜は、フッ化アルミニウム；フッ化バリウム；フッ化カルシウム；フッ化セリウム；フッ化セシウム；フッ化エルビウム；フッ化ガドリウム；フッ化ハフニウム；フッ化ランタン；フッ化リチウム；フッ化マグネシウム；フッ化ナトリウム；クリオライト；チオライト；フッ化ネオジム；フッ化鉛；フッ化スカンジウム；フッ化ストロンチウム；フッ化テルビウム；フッ化トリウム；フッ化イットリウム；フッ化イッテルビウム；フッ化サマリウム；フッ化ジスプロシウム；フッ化プラセオジム；フッ化ユーロビウム；フッ化ホルミウム；フッ化ビスマス；ポリテトラフルオロエチレン，ポリクロロトリフルオロエチレン，ポリフッ化ビニル，フッ化エチレンプロピレン樹脂，ポリフッ化ビニリデン，及びポリアセタールからなる群から選択された少なくとも1つの材料からなるフッ素樹脂；酸化アルミニウム；酸化シリコン；酸化ゲルマニウム；酸化ジルコニウム；酸化チタン；酸化タンタル；酸化ニオブ；酸化ハフニウム；酸化セリウム；酸化マグネシウム；酸化ネオジム；酸化ガドリニ

- ウム；酸化トリウム；酸化イットリウム；酸化スカンジウム；酸化ランタン；酸化プラセオジウム；酸化亜鉛；酸化鉛；酸化シリコンの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；及び酸化ハフニウムの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；から選ばれた1種類以上の成分を有することを特徴としても良い。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

- 図1．各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの正六角形状に形成されたオブティカルインテグレータを示す図である。
- 図2A．各微小レンズの入射面が矩形状に形成されたオブティカルインテグレータを示す図である。
- 図2B．各微小レンズの射出面が矩形状に形成されたオブティカルインテグレータを示す図である。
- 図3A．各微小レンズの入射面が矩形状に形成されたオブティカルインテグレータを示す図である。
- 図3B．各微小レンズの射出面が矩形状に形成されたオブティカルインテグレータを示す図である。
- 図4．各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの矩形状に形成されたオブティカルインテグレータを示す図である。
- 図5．第1実施形態にかかる顕微鏡の構成を概略的に示す図である。
- 図6A．第1実施形態に係る顕微鏡に含まれる照明光学装置を示す図である。
- 図6B．照明光学装置に含まれる微小レンズの開口数について説

09703727.110200

明する図である。

図 6 C. 微小レンズへの入射光の照度分布を示す図である。

図 7. 第 2 実施形態に係る顕微鏡の構成を概略的に示す図である。

図 8. 第 3 実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 9. 第 4 実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 10. オプティカルインテグレータにおける任意の 2 つの隣接する微小レンズへの入射光束の開口数および微小レンズのスキャン方向のサイズを示す図である。

図 11. 第 5 実施形態にかかる投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 12 A. 多光源形成手段の各マイクロフライアイの構成を光軸 AX に沿って見た図である。

図 12 B. 一対のマイクロフライアイの作用および断面形状を示す図である。

図 13. 一対のマイクロフライアイの位置合わせを説明する図である。

図 14 A. 第 6 実施形態にかかる投影露光装置の概略的な構成を示す図である。

図 14 B. マイクロフライアイが配設されたターレットを示す図である。

図 14 C. 回折光学素子が配設されたターレットを示す図である。

図 15 A. 光源像拡大手段としての回折光学素子の実施形態を示す図である。

図 15 B. マイクロフライアイの平面図である

09703727.110200

5

図16．マイクロフライアイの機能を説明するための図である。

図17A．光源像拡大手段としての回折光学素子の機能を説明するための図である。

図17B．回折光学素子によるファーフールドパターンを示す図である。

図17C．回折光学素子によるファーフールドパターンを示す図である。

図18．光源像拡大手段としての回折光学素子の機能を説明するための図である。

図19A．光源像拡大手段の効果を説明するための図である。

図19B．光源像拡大手段の効果を説明するための図である。

図20A．カバーガラスに設けられた遮光パターンを示す図である。

図20B．カバーガラスに設けられた遮光パターンを示す図である。

図21．カバーガラスに設けられた別の遮光パターンを示す図である。

図22．半導体デバイスを得る際の手法を示すフローチャートである。

20

図23．液晶表示素子を得る際の手法を示すフローチャートである。

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

25

まず、図1に示すように、オブティカルインテグレータを構成する各微小レンズの入射面および射出面がともに同じ大きさの正六角形状に形成されている場合について考える。この場合、各微小レンズの入射面に対する回折限界分だけ、入射面と光学的に共

5 役な被照射面に形成される照野において周辺の照度が低下する。
 正六角形状の入射面および射出面に外接する円の直径を d とし、
 各微小レンズの入射面の開口数を NA とし (図 6 B 参照)、各微小
 レンズの焦点距離を f とし、入射光束の波長を λ とするとき、回
 折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の幅
 b (図 6 C 参照) は、次の式 (a) で表される。

$$b = 0.61 \cdot (\lambda / NA) = 0.61 \cdot \lambda / \{(d/2) / f\}$$

(a) 被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照
 度分布を得るためには、上述の幅 b が入射面のサイズ d の $1/10$
 よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (b) が満足されるこ
 とが望ましい。

$$0.61 \cdot \{\lambda / (d/2) / f\} \leq d/10 \quad (b)$$

条件式 (b) を変形すると、次の条件式 (1) に示す関係が得
 られる。

$$(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (1)$$

また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るた
 めには、上述の幅 b が入射面のサイズ d の $1/100$ よりも小さ
 いこと、すなわち次の条件式 (c) が満足されることがさらに望
 ましい。

$$0.61 \cdot \{\lambda / (d/2) / f\} \leq d/100 \quad (c)$$

条件式 (c) を変形すると、次の条件式 (1') に示す関係が得
 られる。

$$(d/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (1')$$

以上、オブティカルインテグレータの入射面および射出面がと
 もに同じ大きさの正六角形状の場合について説明したが、入射面
 および射出面がともに同じ大きさの円形状の場合も同様である。

09703727.110200

5

次に、各微小レンズの入射面が図 2 A に示すように矩形状に形成され、各微小レンズの射出面が図 2 B に示すように正六角形状に形成されている場合について考える。この場合、矩形状の入射面の長辺の長さを d_1 とし、矩形状の入射面の短辺の長さを d_2 とし、正六角形状の射出面に外接する円の直径を D とし、各微小レンズの開口数を NA とし、各微小レンズの焦点距離を f とし、入射光束の波長を λ とするとき、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の幅 b は、次の式 (d) で表される。

$$b = 0.61 \cdot \lambda / \{(D/2) / f\} \quad (d)$$

5

被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b が入射面の長辺方向のサイズ d_1 の $1/10$ よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズ d_2 の $1/10$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (e) または (f) が満足されることが望ましい。

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D/2) / f\} \leq d_1 / 10 \quad (e)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D/2) / f\} \leq d_2 / 10 \quad (f)$$

条件式 (e) および (f) を変形すると、次の条件式 (2) および (3) に示す関係が得られる。

20

$$(d_1/2)(D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (2)$$

$$(d_2/2)(D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (3)$$

25

また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b が入射面の長辺方向のサイズ d_1 の $1/100$ よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズ d_2 の $1/100$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (g) または (h) が満足されることがさらに望ましい。

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D/2) / f\} \leq d1 / 100 \quad (g)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D/2) / f\} \leq d2 / 100 \quad (h)$$

条件式 (g) および (h) を変形すると、次の条件式 (2') および (3') に示す関係が得られる。

$$5 \quad (d1/2)(D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (2')$$

$$(d2/2)(D/2) / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (3')$$

なお、射出面が完全な正六角形の場合、矩形状の入射面の長辺の長さ d1 と短辺の長さ d2 との比は、次の式 (i) に示す関係を満たす必要がある。

$$d1:d2=3:\sqrt{3}/2 \quad \text{または} \quad 1.5:\sqrt{3} \quad (i)$$

ここで、 $\sqrt{3}$ は、3 の平方根を表している。ところで、オプティカルインテグレータの入射面の形状は、被照射面上に形成すべき照明領域（照野）の形状と相似に設定する必要がある。したがって、実際には、入射面が所要の矩形形状に設定され、その入射面の形状に合わせて射出面の形状が正六角形に近い六角形状に設定されることになる。

以上、オプティカルインテグレータの射出面が正六角形状の場合について説明したが、射出面が円形状の場合も同様である。なお、オプティカルインテグレータの射出面は、光源形状と相似の形状であることが好ましく、ランプ光源の場合は略円形状や正六角形状が有効である。

次に、図 3 A 及び図 3 B に示すように各微小レンズの入射面及び射出面が共に矩形形状に形成されている場合について考える。この場合、矩形状の入射面の長辺の長さを d1 とし、矩形状の入射面の短辺の長さを d2 とし、矩形状の射出面において入射面の長辺方向に対応する方向に沿った長さを D1 とし、矩形状の射出面

5 において入射面の短辺方向に対応する方向に沿った長さを D_2 とし、各微小レンズの開口数を NA とし、各微小レンズの焦点距離を f とし、入射光束の波長を λ とすると、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の長辺方向に沿った幅 b_1 および短辺方向に沿った幅 b_2 は、次の式 (j) および (k) で表される。

$$b_1 = 0.61 \cdot \lambda / \{(D_1/2) / f\} \quad (j)$$

$$b_2 = 0.61 \cdot \lambda / \{(D_2/2) / f\} \quad (k)$$

被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b_1 が入射面の長辺方向のサイズ d_1 の $1/10$ よりも小さいか、あるいは上述の幅 b_2 が入射面の短辺方向のサイズ d_2 の $1/10$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (m) または (n) が満足されることが望ましい。

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D_1/2) / f\} \leq d_1 / 10 \quad (m)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D_2/2) / f\} \leq d_2 / 10 \quad (n)$$

条件式 (m) および (n) を変形すると、次の条件式 (4) および (5) に示す関係が得られる。

$$(d_1/2)(D_1/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (4)$$

$$(d_2/2)(D_2/2) / (\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (5)$$

20 また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b_1 が入射面の長辺方向のサイズ d_1 の $1/100$ よりも小さいか、あるいは上述の幅 b_2 が入射面の短辺方向のサイズ d_2 の $1/100$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (p) または (q) が満足されることがさらに望ましい。

$$25 \quad 0.61 \cdot \lambda / \{(D_1/2) / f\} \leq d_1 / 100 \quad (p)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{(D_2/2) / f\} \leq d_2 / 100 \quad (q)$$

条件式 (p) および (q) を変形すると、次の条件式 (4') および (5') に示す関係が得られる。

$$(d1/2)(D1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (4')$$

$$(d2/2)(D2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (5')$$

最後に、図 4 に示すように各微小レンズの入射面及び射出面がともに同じ大きさの矩形状に形成されている場合について考える。この場合、矩形状の入射面および射出面の長辺の長さを $d1$ とし、矩形状の入射面および射出面の短辺の長さを $d2$ とし、各微小レンズの開口数を NA とし、各微小レンズの焦点距離を f とし、入射光束の波長を λ とするとき、回折限界に起因する照度の低下に寄与する入射面上の周辺部分の長辺方向に沿った幅 b は、次の式 (r) で表される。

$$b = 0.61 \cdot \lambda / \{(d1/2)/f\} \quad (r)$$

被照射面に形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b が入射面の長辺方向のサイズ $d1$ の $1/10$ よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズ $d2$ の $1/10$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (s) または (t) が満足されることが望ましい。

$$0.61 \cdot \lambda / \{(d1/2)/f\} \leq d1/10 \quad (s)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{(d2/2)/f\} \leq d2/10 \quad (t)$$

条件式 (s) および (t) を変形すると、次の条件式 (6) および (7) に示す関係が得られる。

$$(d1/2)^2/(\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (6)$$

$$(d2/2)^2/(\lambda \cdot f) \geq 3.05 \quad (7)$$

また、照野のほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得るためには、上述の幅 b が入射面の長辺方向のサイズ $d1$ の $1/10$

0よりも小さいか、あるいは短辺方向のサイズ d_2 の $1/100$ よりも小さいこと、すなわち次の条件式 (u) または (v) が満足されることがさらに望ましい。

$$0.61 \cdot \lambda / \{(d_1/2) / f\} \leq d_1/100 \quad (u)$$

$$0.61 \cdot \lambda / \{(d_2/2) / f\} \leq d_2/100 \quad (v)$$

条件式 (u) および (v) を変形すると、次の条件式 (6') および (7') に示す関係が得られる。

$$(d_1/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (6')$$

$$(d_2/2)^2 / (\lambda \cdot f) \geq 30.5 \quad (7')$$

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

(第1実施形態)

図5は、本発明の実施形態に係る顕微鏡（観察装置）の構成を概略的に示す図である。第1実施形態に係る顕微鏡は、落射照明型の顕微鏡であり、視野絞り15の位置に形成された照野からの光束が、結像光学系16の前方レンズ群16aを介して、ビームスプリッター61に入射する。ビームスプリッター61で反射された光束は、結像光学系16の後方レンズ群16bを介して物体面を落射照明する。物体面からの反射光は、第1対物レンズ62（すなわち結像光学系16の後方レンズ群16b）を介して、ビームスプリッター61に入射する。ビームスプリッター61を透過した光は、第2対物レンズ63を介して観察物体像64を形成する。この観察物体像64は、接眼レンズ65を介して拡大観察される。

次に、第1実施形態に係る顕微鏡に含まれる照明光学装置について、図6を参照しながら説明する。図6は、顕微鏡に含まれる照明光学装置の構成を概略的に示す図である。照明光学装置は、

09703727.110200

照明光を供給するための光源として、たとえばハロゲンランプ 10 を備えている。ハロゲンランプ 10 からの光束は、コリメートレンズ 11 を介してほぼ平行光束となり、波面分割型のオプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイ 12 に入射する。

5 マイクロフライアイ 12 は、図 1 および図 5 に示すように、縦横に稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子であって、各微小レンズの入射面および射出面はともに同じ大きさの正六角形状（サイズ d）に形成されている。マイクロフライアイ 12 は、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成されている。

したがって、マイクロフライアイ 12 に入射した光束は、多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面には多数の光源からなる実質的な面光源（以下「二次光源」という）が形成される。マイクロフライアイ 12 の後側焦点面に形成された二次光源からの光束は、その近傍に配置された開口絞り 13 によって制限された後、コンデンサーレンズ 14 を介して集光され、その後側焦点面に照野を形成する。この照野の形成位置（すなわちコンデンサーレンズ 14 の後側焦点面）には、視野絞り 15 が配置されている。このように、コリメートレンズ 11、マイクロ
10 フライアイ 12 およびコンデンサーレンズ 14 は、光源 10 からの光束に基づいて多数の光源を形成すると共に、この多数の光源からの光束が重畳された所定面上の領域である照野を形成する多数光束重畳手段を構成している。

視野絞り 15 を通過した照野からの光束は、結像光学系 16 を
25 介して、観察すべき物体面（試料面）17 を照明する。ここで、視野絞り 15 と、被照射面としての物体面 17 とは、結像光学系

16を介して光学的に共役に配置されている。したがって、物体面17上には、視野絞り15の開口部の像（すなわち照野の像）としての照明領域が形成される。なお、結像光学系16の瞳面の近傍には、フレアなどの原因となる不要光を遮るための開口絞り18が配置されている。ここで、開口絞り13および18のうちのいずれか一方が配置されていれば、照明光学装置の基本的性能は満足されるが、フレアの発生などを良好に抑えるには双方の開口絞り13および18を配置することが望ましい。また、開口絞り13および／または開口絞り18は、可変開口部を有することが好ましい。

（第2実施形態）

次に、本発明の第2実施形態に係る顕微鏡について図7を参照しながら説明する。第2実施形態に係る顕微鏡は透過照明型の顕微鏡であり、視野絞り15の位置に形成された照野からの光束が、結像光学系16を介して、物体面を下方から照明する。物体面を透過した光は、第1対物レンズ62および第2対物レンズ63を介して、観察物体像64を形成する。この観察物体像64は、接眼レンズ65を介して拡大観察される。第2実施形態に係る顕微鏡に含まれる照明光学装置も、図5に示す照明光学装置である。なお、図6および図7において、開口絞り18の図示を省略している。

第1実施形態及び第2実施形態の顕微鏡に含まれる照明光学装置では、マイクロフライアイ12が、上述の条件式（1）を満足するように構成されている。したがって、視野絞り15の位置に形成される照野において、ひいては被照射面である物体面17に形成される照明領域（照野）において、照度が低下する周辺部分

の幅を小さく抑え、そのほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。また、マイクロフライアイ 12 が条件式 (1') を満足するように構成すれば、照度が低下する周辺部分の幅をさらに小さく抑え、そのほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得ることができる。

(第 3 実施形態)

図 8 は、本発明の第 3 実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。露光装置は、光源として超高圧水銀ランプを用いて液晶表示素子を製造するために使用される。第 3 実施形態に係る露光装置は、たとえば i 線の輝線を含む光を供給する超高圧水銀ランプからなる光源 20 を備えている。光源 20 は、光軸 A-X に関して回転対称な楕円反射面を有する楕円鏡 21 の第 1 焦点位置に位置決めされている。したがって、光源 20 から射出された照明光束は、楕円鏡 21 の第 2 焦点位置に光源像を形成する。

楕円鏡 2 の第 2 焦点位置に形成された光源像からの発散光束は、コリメートレンズ 22 によりほぼ平行光束に変換された後、波長選択フィルター（不図示）を介して、波面分割型のオプティカルインテグレータ 23 に入射する。波長選択フィルターでは、i 線の光 (365 nm) だけが露光光として選択される。なお、波長選択フィルターでは、たとえば g 線 (436 nm) の光と h 線 (405 nm) と i 線の光とを同時に選択することもできるし、g 線の光と h 線の光とを同時に選択することもできるし、h 線の光と i 線の光とを同時に選択することもできる。

オプティカルインテグレータ 23 では、図 8 に示すように、入射側の第 1 微小レンズ群 23a と射出側の第 2 微小レンズ群 23b との間に所定の厚さを有する平行平板 23c を介在させて、

これらを一体的に構成している。ここで、入射側の第1微小レンズ群23aは、図2Aに示すように、縦横に稠密に配列された多数の矩形状($d_1 \times d_2$)の正屈折力を有する微小レンズからなる。また、射出側の第2微小レンズ群23bは、図2Bに示すように、縦横に稠密に配列された多数の正六角形状(サイズD)の正屈折力を有する微小レンズからなる。そして、入射側の第1微小レンズ群23aと射出側の第2微小レンズ群23bとは、対応する各微小レンズの光軸が厳密に一致するように、たとえばモールド法により形成されている。

この場合、オブティカルインテグレータ23を構成する微小レンズは、入射側の第1微小レンズ群23aのうちの1つの第1微小レンズと、射出側の第2微小レンズ群23bのうち当該第1微小レンズに対応する1つの第2微小レンズとからなる。そして、オブティカルインテグレータ23を構成する微小レンズの焦点距離は、上述の第1微小レンズと第2微小レンズとの合成焦点距離である。なお、入射側の第1微小レンズ群23aと射出側の第2微小レンズ群23bとの間に所定の厚さを有する平行平板23cを介在させて、これらを接着剤などで接合することもできる。オブティカルインテグレータ23のさらに詳細な構成については、USP5594526号公報の開示(たとえば図6および図7など)を参照することができる。

こうして、オブティカルインテグレータ23の後側焦点面には、多数の光源からなる二次光源が形成される。二次光源からの光束は、オブティカルインテグレータ23の後側焦点面の近傍に配置された開口絞り24により制限された後、コンデンサーレンズ25に入射する。なお、開口絞り24は、後述する投影光学系PL

の入射瞳面と光学的に共役な位置（照明瞳の位置）に配置され、照明に寄与する二次光源の範囲を規定するための開口部を有する。また、開口絞り 24 は、コンデンサーレンズ 25 の前側焦点面に配置されている。

5 したがって、コンデンサーレンズ 25 を介して集光された光束は、後述するマスク M の照明領域（照明視野）を規定するための照明視野絞り 26 を重疊的に照明する。照明視野絞り 26 の矩形状の開口部を通過した光束は、結像光学系 27 を介して、所定の転写パターンが形成されたマスク M を重疊的に照明する。こうして、マスク M 上には、照明視野絞り 26 の開口部の像、すなわち
09703727.110200
5 オブティカルインテグレータ 23 の第 1 微小レンズの断面形状に相似な矩形状の照明領域が形成される。なお、結像光学系 27 の瞳面（投影光学系 P L の入射瞳面と光学的に共役な位置）の近傍には、フレアーなどの原因となる不要光を遮るための開口絞り 28 が配置されている。このような開口絞り 28 の使用は、本例のようなマイクロフライアイを用いた照明装置への適用には限られず、内面反射型インテグレータを用いた照明光学装置にも適用できる。

20 マスク M は、マスク面に沿って二次元的に移動可能なマスキステージ（不図示）上に保持されている。マスキステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。マスク M のパターンを透過した光束は、投影光学系 P L を介して、感光性基板であるプレート P 上にマスク
25 パターンの像を形成する。プレート P は、プレート面に沿って二次元的に移動可能なプレートステージ（不図示）上に保持されている。プレートステージの位置座標は、干渉計（不図示）によ

て計測され且つ位置制御されるように構成されている。

こうして、投影光学系P Lの光軸と直交する平面内においてプレートPを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、プレートPの各露光領域にはマスクMの
5 パターンが逐次露光される。一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、プレートPの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、オブティカルインテグレータ23の矩形形状の入射面の短辺方向
（すなわちマスクM上に形成される矩形形状の照明領域の短辺方向）に光学的に対応する方向（スキャン方向）に沿って、マスクMおよびプレートPを投影光学系P Lに対して相対移動させながらスキャン露光を行うことにより、プレートPの各露光領域には
マスクMのパターンが逐次露光される。

第3実施形態に係る露光装置では、オブティカルインテグレータ23が、上述の条件式（2）および（3）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成されている。したがって、被照射面であるマスクM上に、ひいてはプレートP上に形成される照明領域（露光領域）において、照度が低下する周辺部分の幅を小さく抑え、そのほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。また、オブティカルインテグレータ23が条件式（2'）および（3'）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成すれば、照度が低下する周辺部分の幅をさらに小さく抑え、その
ほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得ることができる。

ところで、第3実施形態に係る露光装置においてスキャン露光を行う場合、スキャン方向（オブティカルインテグレータ23の

5

5

20

25

備えている。光源 30 から射出されたほぼ平行光束は、ビームエキスパンダー（不図示）を介して所定の矩形形状の断面を有する光束に整形された後、マイクロフライアイ 31 に入射する。

マイクロフライアイ 31 は、縦横に稠密に配列された多数の正屈折力を有する正方形形状の微小レンズから構成されている。こうして、マイクロフライアイ 31 の後側焦点面には多数の光源が形成される。マイクロフライアイ 31 の後側焦点面に形成された多数の光源からの光束は、第 1 コンデンサーレンズ 32 を介して、波面分割型のオブティカルインテグレータ 33 に入射する。オブティカルインテグレータ 33 は、図 9 に示すように、入射側に配置された第 1 マイクロフライアイ 33 a と射出側に配置された第 2 マイクロフライアイ 33 b とから構成されている。

ここで、入射側の第 1 マイクロフライアイ 33 a および射出側の第 2 マイクロフライアイ 33 b は、図 4 に示すように、縦横に稠密に配列された多数の矩形形状の正屈折力を有する微小レンズからなる。そして、入射側の第 1 マイクロフライアイ 33 a を構成する第 1 微小レンズと、射出側の第 2 マイクロフライアイ 33 b を構成する第 2 微小レンズとは、同じ大きさの矩形形状 ($d_1 \times d_2$) に形成されている。さらに、各第 1 微小レンズの光軸と、対応する各第 2 微小レンズの光軸とが厳密に一致するように、第 1 マイクロフライアイ 33 a と第 2 マイクロフライアイ 33 b とが位置合わせされている。

この場合、オブティカルインテグレータ 33 を構成する微小レンズは、入射側の第 1 マイクロフライアイ 33 a を構成する第 1 微小レンズと、射出側の第 2 マイクロフライアイ 33 b を構成する第 2 微小レンズとからなる。そして、オブティカルインテグレ

09703727-110200

5

ータ 3 3 を構成する微小レンズの焦点距離は、上述の第 1 微小レンズと第 2 微小レンズとの合成焦点距離である。なお、オブティカルインテグレータ 3 3 の入射側および射出側にカバーガラスを配置することが好ましい。また、第 1 マイクロフライアイ 3 3 a を構成する第 1 微小レンズと、第 2 マイクロフライアイ 3 3 b を構成する第 2 微小レンズとの曲率半径を若干異ならせて、オブティカルインテグレータ 3 3 を構成する微小レンズの前側焦点位置を第 1 マイクロフライアイ 3 3 a の入射面と一致させ、且つ後側焦点位置を第 2 マイクロフライアイ 3 3 b の射出側空間となるように構成しても良い。この場合には、光量的な観点および耐レーザ性の観点で利点がある。

5

以下、第 1 及び第 2 フライアイ 3 3 a, 3 3 b を構成する第 1 及び第 2 微小レンズ（オブティカルインテグレータ 3 3 を構成する微小レンズ）の具体的な数値例を説明する。なお、以下の数値例では、光量的な見地及び耐レーザ性の見地で有利な形態として 4 つのレンズ面のうちの最も射出側のレンズ面の曲率を他のレンズ面と異なる値に設定している。

20

数値例を示す以下の表において、左端の数字は各レンズ面の光源側（光の入射側）からの順序を表し、 r はレンズ面の頂点曲率半径、 d はレンズ面間隔、 n は照射光の波長 λ が 2 4 8 nm の場合における屈折率である。また、 f は第 1 及び第 2 微小レンズを合成した光学系の焦点距離である。

25

本数値例のオブティカルインテグレータ 3 3 を構成する全ての微小レンズ面は回転対称な非球面形状を有する。これらの非球面は、中心軸線に垂直な方向の高さを y とし、高さ y における各非球面の頂点の接平面から各非球面までの中心軸線に沿った距離

(サグ量)を $S(y)$ とし、基準の曲率半径 (頂点曲率半径) を r とし、円錐係数を κ とするとき、

数式 1

$$S(y) = \frac{\frac{y^2}{r}}{1 + \sqrt{1 - \frac{y^2}{r^2}}}$$

で表される。

以下の表における κ は各レンズ面の円錐係数を表す。そして、表の右端には各レンズ面の大きさ ($d1 \times d2$) を示す。なお、以下の数値例において、単位としては一例として mm を用いることができる。

$f = 1.336 \text{ (mm)}$ 、 $\lambda = 248 \text{ (nm)}$

	r	d	n	κ	$d1 \times d2$
(1)	1.76000	1.00000	1.50839	-2.5	$0.486 \times 0.18(\text{mm})$
(2)	-1.76000	0.40000		-2.5	$0.486 \times 0.18(\text{mm})$
(3)	1.76000	1.00000	1.50839	-2.5	$0.486 \times 0.18(\text{mm})$
(4)	-1.29200	0.18542		-2.5	$0.375 \times 0.18(\text{mm})$

以上のように構成されたマイクロフライアイでは、

数式 2

$$\frac{\frac{d1}{2} \times \frac{D1}{2}}{\lambda \times f} = 137.5$$

$$\frac{\frac{d2}{2} \times \frac{D2}{2}}{\lambda \times f} = 24.4$$

09703727.110200

を満足する。すなわち、上記数値例では、形成される照野のほぼ全体にわたって均一な照度分布を得ることが可能である。

5 また、上記数値例では、球面収差が -0.0021 となり、正弦条件不満足量が 0.0051 となり、コマ収差が -0.0004 となる。このように非球面を導入した上記数値例により、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることができることがわかる。

0 10 15 20 25 こうして、オブティカルインテグレータ33の後側焦点面には、多数の光源からなる二次光源が形成される。二次光源からの光束は、オブティカルインテグレータ33の後側焦点面の近傍に配置された開口絞り34により制限された後、第2コンデンサレンズ35に入射する。第2コンデンサレンズ35を介して集光された光束は、照明視野絞り36の矩形状の開口部を通過し、結像光学系37を介してマスクMを重畳的に照明する。こうして、マスクM上には、オブティカルインテグレータ33の各微小レンズの断面形状に相似な矩形状の照明領域が形成される。結像光学系37の瞳面の近傍には、フレアーなどの原因となる不要光を遮るための開口絞り38が配置されている。

20 マスクMは、マスク面に沿って二次元的に移動可能なマスキステージ（不図示）上に保持されている。マスキステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。ウェハWは、ウェハ面に沿って二次元的に移動可能なウェハステージ（不図示）上に保持されている。ウ

09703727.110200

エハステージの位置座標は、干渉計（不図示）によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

こうして、投影光学系P Lの光軸と直交する平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リビート方式にしたがって、ウェハWの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、オブティカルインテグレータ33の矩形状の入射面の短辺方向に光学的に対応する方向（スキャン方向）に沿って、マスクMおよびウェハWを投影光学系P Lに対して相対移動させながらスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

第4実施形態では、オブティカルインテグレータ33が、上述の条件式（6）および（7）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成されている。したがって、被照射面であるマスクM上に、ひいてはウェハW上に形成される照明領域（露光領域）において、照度が低下する周辺部分の幅を小さく抑え、そのほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。また、オブティカルインテグレータ33が条件式（6'）および（7'）のうち少なくとも一方の条件式を満足するように構成すれば、照度が低下する周辺部分の幅をさらに小さく抑え、そのほぼ全体に亘ってさらに均一な照度分布を得ることができる。

ところで、第4実施形態に係る露光装置によってスキャン露光を行う場合、スキャン方向（オブティカルインテグレータ33の

矩形形状の入射面の短辺方向に光学的に対応する方向)に沿った照度分布はスキャン露光の作用により平滑化されるので、2つの条件式(6)および(7)のうちオブティカルインテグレート23の矩形形状の入射面の長辺方向に沿った条件式(6)を満足することが好ましい。同様に、第4実施形態においてスキャン露光を行う場合、条件式(6')を満足することがさらに好ましい。

ところで、第4実施形態に係る露光装置のようにパルス発振光源を用いたスキャン露光の場合、オブティカルインテグレート33における任意の2つの隣接する微小レンズの照明光間の位相差がパルスごとにランダムに変わることが望ましい。図10に示すように、入射光束の開口数をNA2とし、微小レンズのスキャン方向に沿ったサイズをd2とすると、入射面でのコヒーレンス領域は $\lambda/NA2$ であるため、 $d2/(\lambda/NA2)$ 個だけ異なる位相差の組で照明される。少なくともこの組が10個以上であること、すなわち次の条件式(8)を満足することが必要である。さらに、条件式(8)の下限値がパルス数(通常は30~50)以上であることがさらに望ましい。

$$10 < d2 / (\lambda / NA2) \quad (8)$$

なお、上述の各実施形態では、顕微鏡や露光装置の照明光学装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な照明光学装置にも本発明を適用することができる。

また、上述の第3実施形態および第4実施形態では、コンデンサーレンズ25および35の後側焦点面に形成される照野において照度が低下している周辺部分からの光束を開口絞り24および34で遮ってもよいし遮らなくてもよい。周辺部分からの光束を遮る場合、本発明にしたがって照度が低下する周辺部分の幅が小

さく抑えられているので、開口絞り 2 4 および 3 4 における光量損失を小さく抑えることができる。

以上説明したように、本発明のオプティカルインテグレータでは、各微小レンズのサイズを小さくして波面分割数を大きく設定しても、形成される照野のほぼ全体に亘って均一な照度分布を得ることができる。したがって、本発明のオプティカルインテグレータを組み込んだ照明光学装置では、ほぼ全体に亘って均一な照度分布で被照射面を照明することができる。さらに、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、ほぼ全体に亘って均一な照度分布でマスクを照明し、マスクの微細なパターンを良好に転写することができる。

(第 5 実施形態)

次に、本発明の第 5 実施形態に係る投影露光装置について図 1 1 を参照しながら説明する。図 1 1 は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図 1 1 に示す投影露光装置では、照明光学装置が通常の円形照明を行うように設定されている。

投影露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源 1 0 1 として、たとえば 2 4 8 nm または 1 9 3 nm の波長の光を供給するエキシマレーザー光源を備えている。光源 1 0 1 から基準光軸 A X に沿って射出されたほぼ平行な光束は、整形光学系（不図示）を介して所望の矩形状の断面を有する光束に整形された後、光遅延部 1 0 2 に入射する。

光軸 A X に沿って光遅延部 1 0 2 に入射した光束は、ハーフミラー 1 2 0 を透過する光束とハーフミラー 1 2 0 で反射される光束とに分割される。ハーフミラー 1 2 0 で反射された光束は、た

09703727.110200
0
5
たとえば矩形形状の遅延光路を形成するように配置された4つの反射ミラー（不図示）において順次偏向された後に、ハーフミラー120に戻る。遅延光路を1回経た後にハーフミラー120で反射された光束は、遅延光路を経ることなくハーフミラー120を透過した光束と同じ光軸AXに沿って射出され、2つの光束の間には遅延光路の光路長に等しい光路長差が付与される。

5
0
5
20
こうして、光遅延部102により、光軸AXに沿って入射する光束は、時間的に複数の光束に分割され、時間的に連続する2つの光束の間には遅延光路の光路長と等しい光路長差が付与される。ここで、付与される光路長差は、コヒーレント光源101からの光束の時間的可干渉距離以上に設定されている。したがって、光遅延部102により分割される波連においてコヒーレンシー（可干渉性）を低減することができ、被照明面における干渉縞やスペckルの発生を良好に抑えることができる。なお、スペckルの発生を良好に抑えるには、上述のような光遅延部を光軸AXに沿って3段に配置することが好ましい。この種の光遅延手段に関するさらに詳細な構成および作用は、たとえば特開平1-198759号公報、特開平11-174365号公報、特開平2000-223405号公報（US Serial No 09/300660）明細書および図面などに開示されている。

25
光遅延部102を介して時間的にインコヒーレントな多重のバルスに時間的に分割された光束は、回折光学素子（DOE）131に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、円形照明用の回折光学素子131は、光軸AXに沿っ

て入射した矩形状のほぼ平行な光束を、円形状の断面を有する発散光束に変換する。ところで、回折光学素子には被照明面における干渉縞やスベクルの発生を低減する効果があるので、場合によっては光遅延部102の設置を省略することもできる。

5 回折光学素子131を介した円形状の発散光束は、第1のコンデンサー光学系としてのズームレンズ104を介した後、一对のマイクロフライアイ151および152から構成された多光源形成手段105に入射する。こうして、多光源形成手段105の入射面（すなわち光源側のマイクロフライアイ151の入射面）には、円形状の照野が形成される。そして、形成される照野の大きさ（すなわちその直径）は、ズームレンズ104の焦点距離に依存して変化する。

09703727.110200
5
20
5
なお、マイクロフライアイ151の入射面およびマイクロフライアイ152の射出面が光化学反応により汚染されるのを回避するために、マイクロフライアイ151の入射面およびマイクロフライアイ152の射出面に隣接して一对の平行平板153および154がカバーガラスとしてそれぞれ配置されている。したがって、光化学反応による汚染が起こったとしても、後述するように位置合わせ調整された一对のマイクロフライアイ151および152を交換することなく、一对のカバーガラス153および154だけを交換すればよい。

25 図12Aは、投影露光装置に含まれる多光源形成手段の構成を示す図であって光軸AXに沿って見た各マイクロフライアイの構成を示す図、図12Bは一对のマイクロフライアイの作用および断面形状を示す図である。

各マイクロフライアイ151および152は互いに同じ基本構

成を有し、図 1 2 A および 図 1 2 B に示すように、縦横に且つ稠密に配列された多数の矩形状の正屈折力を有する微小レンズ要素 1 5 0 c からなる光学素子である。各マイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 は、正方形形状の平行平面ガラス板 1 5 0 a にエッチング処理を施して円形状の領域 1 5 0 b に微小レンズ群 1 5 0 c を形成することによって構成されている。

一般に、マイクロフライアイ（光学要素束）を構成する各微小レンズ要素（各微小光学要素）は、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ要素が互いに隔絶されことなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズエレメントが縦横に配置されている点でマイクロフライアイはフライアイレンズと同じである。なお、図 1 1、図 1 2 A 及び 図 1 2 B では、図面の明瞭化のために、マイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の数を実際よりも非常に少なく表している。

したがって、一対のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 に入射した光束は、多数の微小レンズ要素により二次元的に分割される。そして、図 1 2 B において実線で示すように、一対のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 において光軸 A X に沿って対応する一対の微小レンズ要素 1 5 1 a および 1 5 2 a からなる合成光学系の後側焦点面（すなわち被照射面側のマイクロフライアイ 1 5 2 の射出面の近傍）にはそれぞれ 1 つの光源が形成される。なお、図 1 2 B において破線で示すように、一対のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 の前側焦点面が光源側のマイクロフラ

5

アイ 1 5 1 の入射面と一致するように構成されている。

こうして、一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ 1 5 1 の入射面に形成される照野と同じ円形状の多数光源（以下、「二次光源」という）が形成される。このように、一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 は、1 つの波面分割型オプティカルインテグレータを構成し、ひいては光源 1 0 1 からの光束に基づいて多数の光源を形成するための多光源形成手段 1 0 5 を構成している。

ここで、ズームレンズ 1 0 4 は、その前側焦点面と回折光学素子 1 3 1 の回折面とが一致し且つその後側焦点面とマイクロフライアイ 1 5 1 の入射面とが一致するように、たとえば 3 倍の範囲に亘って焦点距離を連続的に変化させることが好ましい。したがって、ズームレンズ 1 0 4 は、光軸に沿って互いに独立に移動可能な 3 つのレンズ群を備えていることが好ましい。

5

一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 の後側焦点面に形成された円形状の二次光源からの光束は、その近傍に配置された虹彩絞り 1 0 6 に入射する。虹彩絞り 1 0 6 は、光軸 A X を中心としたほぼ円形状の開口部（光透過部）を有し、ほぼ円形状を維持したままでその開口径を連続的に変化させることができるように構成された照明開口絞りである。

20

なお、回折光学素子 1 3 1 は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子 1 3 2 や 4 極変形照明用の回折光学素子 1 3 3 と切り換え可能に構成されている。具体的には、3 つの回折光学素子 1 3 1 ～ 1 3 3 は、光軸 A X に平行な所定の軸線回りに回転可能なターレット（回転板）1 3 0 上に支持されている。輪帯変形照明用の回折光学素子 1 3 2 および

25

4 極変形照明用の回折光学素子 1 3 3 の作用については後述する。

ここで、円形照明用の回折光学素子 1 3 1 と輪帯変形照明用の回折光学素子 1 3 2 と 4 極変形照明用の回折光学素子 1 3 3 との間の切り換えは、制御系 1 2 1 からの指令に基づいて動作する第 1 駆動系 1 2 2 により行われる。また、ズームレンズ 1 0 4 の焦点距離の変化は、制御系 1 2 1 からの指令に基づいて動作する第 2 駆動系 1 2 3 により行われる。さらに、虹彩絞リ 1 0 6 の開口径の変化は、制御系 1 2 1 からの指令に基づいて動作する第 3 駆動系 1 2 4 により行われる。

円形状の開口部を有する虹彩絞リ 1 0 6 を介した二次光源からの光は、第 2 のコンデンサー光学系としてのズームレンズ 1 0 7 の集光作用を受けた後、後述するマスク 1 1 0 と光学的に共役な所定面を重畳的に照明する。なお、ズームレンズ 1 0 7 は、 $f \sin \theta$ レンズであって、正弦条件を満足するように（ひいてはコマ収差の発生が抑えられるように）構成されている。こうして、この所定面には、各マイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 を構成する各微小レンズ要素の形状と相似な矩形状の照野が形成される。そして、この所定面に形成される矩形状の照野の大きさおよび照明 NA は、ズームレンズ 1 0 7 の焦点距離に依存して変化する。

ズームレンズ 1 0 7 は、その前側焦点面と一対のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 の後側焦点面とが一致し且つその後側焦点面と上述の所定面とが一致するように、焦点距離を連続的に変化させることが好ましい。したがって、ズームレンズ 1 0 7 は、ズームレンズ 1 0 4 と同様に、光軸に沿って互いに独立に移動可能な 3 つのレンズ群を備えていることが好ましい。このように、ズームレンズ 1 0 7 は、所定の範囲で焦点距離を連続的に変化さ

せることができるように構成され、その焦点距離の変化は制御系 121 からの指令に基づいて動作する第4駆動系 125 により行われる。

5 なお、マスク 110 と光学的に共役な所定面には、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 108 が配置されている。マスクブラインド 108 の開口部（光透過部）を介した光束は、リレー光学系 109 の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク 110 を重疊的に均一照明する。こうして、リレー光学系 109 は、マスクブラインド 108 の矩形形状の開口部の像をマスク 110 上に形成することになる。

09703727.110200
10 マスク 110 のパターンを透過した光束は、投影光学系 111 を介して、ワークとしての感光性基板であるウエハ（あるいはプレート）112 上にマスクパターンの像を形成する。なお、ウエハ 112 は、投影光学系 111 の光軸 AX と直交する平面内において二次元的に移動可能なウエハステージ 113 上に保持されている。こうして、ウエハ 112 を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウエハ 112 の各露光領域（ショット領域）にはマスク 110 のパターンが逐次露光される。

20 なお、一括露光方式では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウエハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスク 110 上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、一対のマイクロフライアイ 151 および 152 の各微小レンズ要素の形状も正方形に近い矩形状となる。

25 一方、スキャン露光方式では、いわゆるステップ・アンド・ス

キャン方式にしたがって、マスクおよびウエハを投影光学系に対して相対移動させながらウエハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスク１１０上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば１：３の矩形状であり、
5 一対のマイクロフライアイ１５１および１５２の各微小レンズ要素の形状もこれと相似な矩形状となる。

本実施形態では、ズームレンズ１０７の焦点距離を変化させると、マスク１１０のパターン面に形成される照明領域の大きさ、さらにウエハ１１２の露光面に形成される露光領域の大きさが変化する。また、ズームレンズ１０７の焦点距離の変化に伴って、マスク１１０のパターン面における照明ＮＡが変化する。

一方、ズームレンズ１０４の焦点距離を変化させると、マスク１１０のパターン面に形成される照明領域の大きさが変化することなく、マスク１１０上における照明ＮＡが変化する。

したがって、本実施形態では、ズームレンズ１０７の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスク１１０上において所望の大きさの照明領域を得ることが、ひいてはウエハ１１２上において所望の大きさの露光領域を得ることができる。

また、所定の値に設定されたズームレンズ１０７の焦点距離に対してズームレンズ１０４の焦点距離を所定の値に設定することにより、マスク１１０上において所望の大きさの照明ＮＡを得ることが、ひいては所望のσ値に設定または調整することができる。

さらに、前述したように、回折光学素子１３１は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯変形照明用の回折光学素子
20 １３２や４極変形照明用の回折光学素子１３３と切り換え可能に構成されている。

以下、回折光学素子 1 3 1 に代えて回折光学素子 1 3 2 および 1 3 3 を照明光路中に設定することによってそれぞれ得られる輪帯変形照明および 4 極変形照明について説明する。

輪帯変形照明用の回折光学素子 1 3 2 は、光軸 A X に沿って入射する矩形断面の平行光束を輪帯状の発散光束に変換する。回折光学素子 1 3 2 を介した輪帯状の発散光束は、ズームレンズ 1 0 4 を介した後、一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 に入射する。こうして、光源側のマイクロフライアイ 1 5 1 の入射面には、輪帯状の照野が形成される。その結果、一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ 1 5 1 の入射面に形成された照野と同じ輪帯状の二次光源が形成され、この輪帯状の二次光源からの光束に基づいて輪帯変形照明を行うことができる。

一方、4 極変形照明用の回折光学素子 1 3 3 は、光軸 A X に沿って入射する矩形断面の平行光束を 4 極状の発散光束に変換する。回折光学素子 1 3 3 を介した 4 極状の発散光束は、ズームレンズ 1 0 4 を介した後、一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 に入射する。こうして、光源側のマイクロフライアイ 1 5 1 の入射面には、4 極状の照野が形成される。その結果、一对のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 の後側焦点面には、光源側のマイクロフライアイ 1 5 1 の入射面に形成された照野と同じ 4 極状の二次光源が形成され、この 4 極状の二次光源からの光束に基づいて 4 極変形照明を行うことができる。

このように、回折光学素子 1 3 1 ~ 1 3 3 は、多光源形成手段 1 0 5 へ入射する光束の光強度分布を変更するための光強度分布変更手段を構成している。

ところで、本実施形態では、一对のマイクロフライアイ 151 および 152 を構成する各微小レンズ要素の屈折面に非球面を導入している。以下、一对のマイクロフライアイ 151 および 152 において光軸 AX に沿って対応すべき一对の微小レンズ要素 151a および 152a に着目して、この点を説明する。

図 12B に示すように、微小レンズ要素 151a は光源側の屈折面 m1 と被照射面側の屈折面 m2 とによって規定される両凸形状を有し、微小レンズ要素 152a は光源側の屈折面 m3 と被照射面側の屈折面 m4 とによって規定される両凸形状を有する。

本実施形態では、上述の 4 つの屈折面 m1 ~ m4 のうちの少なくとも 1 つの屈折面を、光軸 AX に平行な軸線（中心軸線）に関して対称な非球面状に形成している。この場合、非球面の導入により、光学設計上のパラメータが増えるので、所望の設計解が得られ易くなり、特に収差補正の観点から設計自由度は著しく向上する。したがって、一对の微小レンズ要素 151a および 152a からなる合成光学系において、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることができる。その結果、本実施形態では、一对のマイクロフライアイ 151 および 152 からなる多光源形成手段 105 が正弦条件をほぼ満足することになり、多光源形成手段 105 に起因する照度ムラの発生を良好に抑え、被照射面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。

以下、一对のマイクロフライアイ 151 および 152 の具体的な数値例に基づいて本実施形態の作用について検証する。なお、以下の数値例では、製造性の高い形態として、4 つの屈折面 m1

～m 4 が互いに全く同じ性状を有する非球面状に形成されているものとする。

まず、数値例では、各微小レンズ要素の大きさを 0.54 mm × 0.2 mm と設定し、各微小レンズ要素の照明光に対する屈折率 n を 1.508 と設定する。次いで、微小レンズ要素 151 a の軸上厚 d_1 および微小レンズ要素 152 a の軸上厚 d_3 をともに 1.3 mm と設定し、一对の微小レンズ要素 151 a と 152 a との軸上空気間隔 d_2 を 0.53 mm と設定する。

そして、上述したように、4 つの屈折面 $m_1 \sim m_4$ は、互いに同じ性状を有する非球面状に形成されている。なお、非球面は、中心軸線に垂直な方向の高さを y とし、高さ y における各非球面の頂点の接平面から各非球面までの中心軸線に沿った距離（サゲ量）を $S(y)$ とし、基準の曲率半径（頂点曲率半径）を r とし、円錐定数を κ としたとき、以下の式（2）で表される。

$$S(y) = (y^2/r) / \{1 + (1 - \kappa \cdot y^2/r^2)^{1/2}\} \quad (2)$$

具体的には、微小レンズ要素 151 a の屈折面 m_1 の頂点曲率半径 r_1 および微小レンズ要素 152 a の屈折面 m_3 の頂点曲率半径 r_3 は、ともに 2.091 (mm⁻¹) に設定されている。また、微小レンズ要素 151 a の屈折面 m_2 の頂点曲率半径 r_2 および微小レンズ要素 152 a の屈折面 m_4 の頂点曲率半径 r_4 は、ともに -2.091 (mm⁻¹) に設定されている。さらに、すべての屈折面 $m_1 \sim m_4$ の円錐定数 κ は、ともに -2.49 に設定されている。

こうして、微小レンズ要素 151 a の焦点距離および微小レンズ要素 152 a の焦点距離はともに 2.29 mm となり、微小レンズ要素 151 a と微小レンズ要素 152 a との合成焦点距離は

1. 7 mmとなる。

5 以上のように構成された一対のマイクロフライアイ151および152からなる多光源形成手段105では、球面収差が-0.025となり、正弦条件不満足量が-0.002となり、コマ収差が-0.005となる。すなわち、非球面を導入した上述の数値例により、球面収差の発生を良好に抑えるだけでなく、正弦条件をほぼ満足することによってコマ収差の発生を良好に抑えることが可能であることがわかる。

09703727.110200
5 5
20 5
なお、図12Aにおいて、微小レンズ要素150cが形成される円形状の領域150bの直径は、設定すべき最大 σ 値に対応するように規定され、たとえば86 mm程度に設定される。したがって、微小レンズ要素150cのサイズを上述の数値例に示すように0.54 mm \times 0.2 mmと設定すると、円形状の領域150b内に形成される微小レンズ要素150cの有効個数は5万個程度となる。この場合、多光源形成手段105において非常に大きな波面分割効果が得られるので、被照射面であるマスク110あるいはウエハ112上の照度ムラの発生を低減することができる。その結果、照明条件の切り換え（円形照明と輪帯変形照明と4極変形照明との切り換え、照明領域の大きさや σ 値などの照明パラメータの変更など）を行っても、照度ムラの変動およびテレセントリシティの変化を非常に小さく抑えることができる。

25 5
また、多光源形成手段105において非常に大きな波面分割効果が得られるので、輪帯変形照明や4極変形照明に際して、輪帯状の開口部や4極状（一般的には多重極状）の開口部を有する照明開口絞りを虹彩絞り106の位置に配置する必要がなくなる。すなわち、円形照明と輪帯変形照明と4極変形照明との切り換え

を行っても、従来技術のように円形開口絞りと輪帯状開口絞りと4極状開口絞りととの切り換えを連動的に行うことなく、虹彩絞り106の開口径を必要に応じて変化させてフレア光などの余分な光束を遮るだけでよい。換言すると、いわゆる σ 絞りと呼ばれる照明開口絞りの配置を省略することができ、構成を簡素化することができる。

なお、本発明において、十分な波面分割効果を得るには、1つのマイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の有効個数が1000個以上であることが好ましい。さらに波面分割効果を高めるためには、微小レンズ要素の有効個数が5000個以上であることが好ましい。ここで、1つのマイクロフライアイを構成する微小レンズ要素の有効個数は、合成光学系の数、および各微小レンズ要素の光軸AXに平行な中心軸線（光軸）の数に対応し、ひいては多光源形成手段105の波面分割数に対応している。

ところで、本実施形態では、多光源形成手段105が一对のマイクロフライアイ151および152により構成され、且つ各微小レンズ要素のサイズおよび焦点距離が非常に小さいので、光軸AXに沿って対応すべき一对の微小レンズ要素を互いに位置合わせすること、すなわち一对のマイクロフライアイ151および152を互いに位置合わせすることが重要である。具体的には、光軸AXと直交する面内において二次元的に並進位置ずれすることなく、また光軸AXと直交する面内において光軸AX廻りに回転位置ずれすることなく、対応すべき一对の微小レンズ要素を位置合わせする必要がある。

そこで、本実施形態では、図12Aに示すように、一对のマイクロフライアイ151と152との位置合わせ手段として、マイ

クロフライアイ151および152にそれぞれ4つのアライメントマーク150dを形成している。4つのアライメントマーク150dは、多数の微小レンズ要素150cが形成された円形状の領域150bの外側、すなわち照明光路外において、正方形の4つの角に対応する位置に、たとえばクロムを蒸着することによって形成されている。各アライメントマーク150dは、たとえば1μm程度の位置精度をもって形成され、その大きさは2mm程度である。

このように、アライメントマーク150dの形成されたマイクロフライアイ151および152は、図13に示すような保持部材155によって支持され、照明光路中において別の保持部材(不図示)に取り付けられた状態で位置決めされる。保持部材155には、円形状の領域150bに対応した円形状の開口部155aと、4つのアライメントマーク150dに対応した4つの円形状の開口部155bとが形成されている。また、保持部材155には、たとえば複数のマイクロメータから構成された駆動系156が接続されている。そして、この駆動系156の作用により、照明光路中に位置決めされた保持部材155は、X方向およびY方向に沿ってそれぞれ微小移動するとともに、光軸AX廻りに微小回転する。

一対のマイクロフライアイ151と152との位置合わせに際しては、マイクロフライアイ151に形成された4つのアライメントマーク150dおよびマイクロフライアイ152に形成された4つのアライメントマーク150dを、目視により、あるいはルーペや顕微鏡などを介して観察する。そして、対応するアライメントマーク150dが光軸AX方向に沿って一致するように、

駆動系 1 5 6 により一対の保持部材 1 5 5 のうちの少なくとも一方を微動させる。こうして、一対のマイクロフライアイ 1 5 1 と 1 5 2 とを互いに位置合わせでき、ひいては光軸 A X に沿って対応すべき一対の微小レンズ要素を互いに位置合わせすることができ。なお、一対の保持部材 1 5 5 の双方を可動としてもよいし、一対の保持部材 1 5 5 の一方を可動とし且つ他方を固定としてもよい。

なお、他の位置合わせ方法として、たとえばオートコリメータのような角度測定装置を用いて、対応する一対の微小レンズ要素の位置ずれを観測する方法が考えられる。この方法では、照明光路中に一対のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 を挿入しない状態においてオートコリメータを初期設定した後に、一対のマイクロフライアイ 1 5 1 および 1 5 2 を照明光路中に挿入し、一対の微小レンズ要素の透過光束に基づいて位置合わせを行う。また、顕微鏡などで一対の微小レンズ要素の透過光束を観測し、その視野内で観察される一対の微小レンズ要素の位置ずれを読み取ることによって位置合わせを行う方法も考えられる。

本実施形態のような照明光学装置では、コンデンサー光学系としてのズームレンズ 1 0 7 などを構成する各レンズに施された反射防止膜の角度特性に起因して照度ムラが発生することが知られている。ここで、反射防止膜は、レンズ表面に複数枚の誘電体の薄膜を蒸着して形成され、反射光を振幅分割して多数の光の位相をずらして干渉させることによって反射光を消す。位相のずらし方は膜の厚さで制御されるため、光束の入射角度が異なると反射防止の効果に差異が発生する。一般に、レンズを使用する光学系では、レンズ周辺を透過する光線ほど大きく折り曲げられ入射角

09703727.110200

5

は大きい。一方、反射防止膜は垂直入射に対して設計されているので、入射角の大きい光ほど反射され易い。その結果、被照射面において像高が大きいほど、すなわち光軸から離れるにしたがって照度がほぼ二次曲線状に低下する傾向となる。

5

本実施形態では、カバーガラス 153 の被照射面側の面にクロムのドットパターンが形成されたフィルターを配置することによって、上述の反射防止膜の角度特性などに起因して発生する照度ムラなどを補正することができる。ここで、光源側のマイクロフライアイ 151 を構成する各微小レンズ要素の入射面に対応する微小な矩形状の領域に形成されるドットパターンは、その中心の透過率が最も小さくその周辺に向かって透過率が徐々に増大するように構成されている。この場合も、カバーガラス 153 に形成された矩形状の微小ドットパターン領域と光源側のマイクロフライアイ 151 の各微小レンズ要素とを位置合わせする必要がある。この位置合わせは、前述したアライメントマークをカバーガラス 153 に形成することによって、一対のマイクロフライアイの位置合わせと同様に行うことができる。

20

なお、上述のフィルタは、光源側のマイクロフライアイ 151 の入射面に限定されることなく、被照射面と光学的に共役な面の近傍に配置することができる。また、上述のドットパターンを、光源側のマイクロフライアイ 151 を構成する各微小レンズ要素の入射面に直接形成することもできる。

25

また、ドットパターンの形成されたカバーガラス 153 に代えて、入射角に応じて透過率の異なるフィルタを照明光学装置の瞳位置（たとえば虹彩絞り 106 の位置またはその共役面）に配置することによって、上述の照度ムラを補正することができる。

さらに、コンデンサー光学系としてのズームレンズ107を構成する複数のレンズのうち一部のレンズを光軸方向に移動させることによって上述の照度ムラを補正する方法も考えられる。しかしながら、この方法では、ディストーション（歪曲収差）のような諸収差が発生するだけでなく、ズームレンズ107の焦点距離の変化に伴って σ 値など照明パラメータが変化してしまう。

また、前述したように、照明条件の切り換えに伴って照度ムラがわずかに変動することがある。この場合、照明条件の切り換えに際して、上述のフィルターの切り換えなどを行うことにより照度ムラの変動を補正することもできる。

なお、上述の実施形態においては、間隔を隔てた配置された一対のマイクロフライアイにより多光源形成手段を構成しているが、一般に間隔を隔てた配置された少なくとも2つの光学要素束により多光源形成手段を構成することもできる。ここで、光学要素束は、レンズ面の二次元アレイや反射面の二次元アレイを含む概念である。

また、上述の実施形態においては、エッチング処理によりマイクロフライアイを形成しているが、たとえば圧痕法や研磨法によりマイクロフライアイを形成することもできる。

さらに、上述の実施形態においては、一対のマイクロフライアイが間隔を隔てて配置されているが、その空間を不活性ガスや光学ガラスで満たすこともできる。なお、所定の波長よりも短い紫外光を供給する光源を用いる場合には、石英ガラスまたは蛍石を用いて波面分割型オブティカルインテグレータを形成することが好ましい。

また、第5実施形態においては、波面分割型オブティカルイン

09703727.110200

5

テグレートとしてマイクロフライアイを用いているが、たとえばフライアイレンズのような波面分割型オプティカルインテグレートを用いることもできる。この場合、十分な波面分割効果を得るために、十分な数のレンズエレメントでフライアイレンズを構成することが好ましい。

10

さらに、第5実施形態においては、光強度分布変更手段としての回折光学素子をターレット方式で照明光路中に位置決めするように構成しているが、たとえば公知のスライダ機構を利用して上述の回折光学素子の切り換えを行うこともできる。ところで、本発明で利用することのできる回折光学素子に関する詳細な説明は、USP 5 8 5 0 3 0 0などに開示されている。

5

また、上述の実施形態では、光強度分布変更手段として回折光学素子を用いているが、たとえばフライアイレンズやマイクロフライアイのような波面分割型オプティカルインテグレートを用いることもできる。

20

さらに、上述の実施形態では、マスク110と共役な所定面に照野を一旦形成し、この照野からの光束をマスクブラインド108で制限した後、リレー光学系109を介してマスク110上に照野を形成している。しかしながら、リレー光学系109を省略し、ズームレンズ107を介して、マスクブラインド108の位置に配置したマスク110上に照野を直接形成する構成も可能である。

25

また、上述の実施形態では、4極状の二次光源を形成する例を示しているが、たとえば2極（2つ目）状の二次光源、あるいは8極（8つ目）状のような多重極状の二次光源を形成することもできる。

5

さらに、上述の実施形態では、光源としてKrFエキシマレーザ（波長：248nm）やArFエキシマレーザ（波長：193nm）を用いているが、g線、h線、及び／またはi線を含む光源や、F₂レーザ等の光源に対しても本発明を適用することができる。

また、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を均一照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

5

したがって、本実施形態に係る投影露光装置では、被照射面である感光性基板の露光面における照度の均一性と開口数の均一性とを同時に満たすことができる。その結果、良好な露光条件のもとで、スループットの高い良好な投影露光を行うことができる。

また、被照射面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法では、良好な露光条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好なマイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。

（第6実施形態）

20

本発明の第6実施形態に係る投影露光装置について、図14Aを参照しながら説明する。図14Aは、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた投影露光装置の構成を概略的に示す図である。図14Aにおいて、感光性材料が塗布された基板（ワーク）であるウエハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウエハ面内において図14Aの紙面に平行な方向にY軸を、ウエハ面内において図14Aの紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

25

09703727-110200
5

5

図14Aに示す投影露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源201として、例えば248nmまたは193nmの波長の光を供給するエキシマレーザー光源を備えている。光源201から基準光軸AXに沿って射出された所望の矩形状の断面を有する光束ほぼ平行な光束は、光遅延部202に入射する。

この光遅延部202では、入射光束を互いに光路長差の付けられた複数の光路に進行する光束に時間的に分割し、これら複数の光束を再び合成した後に射出するものである。ここで、光路長差はコヒーレント光源201からの光束の時間的可干渉距離以上に設定される。従って、光遅延部202により分割される波連においてコヒーレンシー（可干渉性）を低減することができ、被照明面における干涉縞やスベックルの発生を良好に抑えることができる。なお、スベックルの発生を良好に抑えるには、上述のような光遅延部202を光軸AXに沿って3段に配置することが好ましい。

20

この種の光遅延手段に関しては、例えば特開平1-198759号公報、特開平11-174365号公報、特開平11-312631号公報、特開平2000-223405号公報、特開平2000-223396号公報、US Serial No 09/300660、明細書及び図面などに開示されている。

光遅延部202を介して時間的にインコヒーレントな多重のパルスに時間的に分割された光束は、複数のマイクロフライアイ231、232を設けたターレット230へ向かう。

25

図14Bはターレット230をその射出側から見たXY平面図である。図14Bに示すように、ターレット230は、輪帯照明用のマイクロフライアイ231と、多重極（例えば4極、8極等）

5

照明用のマイクロフライアイ 2 3 2 と、通常照明用の穴部 2 3 3 とを備えている。ここで、輪帯照明用のマイクロフライアイ 2 3 1 は、XY 平面上に 2 次元マトリックス状に配列された多数のレンズ面を有し、これらのレンズ面の XY 平面における断面形状は六角形状である。また、多重極照明用のマイクロフライアイも、XY 平面上に 2 次元マトリックス状に配列された多数のレンズ面を有し、これらのレンズ面の XY 平面における断面形状は四角形状である。

0

以下の説明では、輪帯照明用のマイクロフライアイ 2 3 1 が照明光路中に設定された場合を主に説明する。

5

20

図 1 4 A に戻って、輪帯照明用のマイクロフライアイ 2 3 1 の複数のレンズ面は、光遅延部 2 0 2 を介した光源 2 0 1 からの光束を集光して複数の光源像（レンズ面の屈折力が正のときは実像、負のときは虚像）を形成し、このマイクロフライアイ 2 3 1 からは所定の発散角を有する発散光束が射出する。マイクロフライアイ 2 3 1 の射出側には、アフォーカルズーム光学系 2 0 4 が配置されている。アフォーカルズーム光学系 2 0 4 は、その角倍率が可変となるように構成されており、入射する発散光束は、アフォーカルズーム光学系 2 0 4 を介した後、設定された角倍率に応じた角度となるように射出される。アフォーカルズーム光学系 2 0 4 から射出される光束は、複数の回折光学素子 2 5 1 ～ 2 5 3 を備えたターレット 2 5 0 へ向かう。

25

図 1 4 C はターレット 2 5 0 をその射出側から見た XY 平面図である。図 1 4 C に示すように、ターレット 2 5 0 は、輪帯照明用の回折光学素子 2 5 1 と、多重極（例えば 4 極、8 極等）照明用の回折光学素子 2 5 2 と、通常照明用の回折光学素子 2 5 3 と

を備えている。

ここで、これらの回折光学素子 2 5 1 ~ 2 5 3 は、光透過性の基板（ガラス基板）に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、輪帯照明用の回折光学素子 2 5 1 は、照明光学装置の光軸（Z 軸）に沿って入射した光束を、ファーフールド（遠視野）領域において輪形状の断面を有する発散光束に変換する。また、多重極照明用の回折光学素子 2 5 2 は、照明光学装置の光軸（Z 軸）に沿って入射した光束を、ファーフールド領域において光軸を原点とした X Y 座標において第 1 ~ 第 4 象限にそれぞれ位置する 4 つの点となる 4 重極形状の断面を有する複数の発散光束に変換する。そして、通常照明用の回折光学素子 2 5 3 は、照明光学装置の光軸に沿って入射した光束を、ファーフールド領域において円形断面を有する発散光束に変換する。

なお、回折光学素子 2 5 1 ~ 2 5 3 には被照明面における干渉縞やスペックルの発生を低減する効果があるので、場合によっては光遅延部 2 0 2 の設置を省略することもできる。

さて、図 1 4 A に戻って、輪帯照明用のマイクロフライアイ 2 3 1 が光路中に設定される場合には、輪帯照明用の回折光学素子 2 5 1 が照明光路中に設定される。輪帯照明用の回折光学素子 2 5 1 は、平行光束ではなく、マイクロフライアイ 2 3 1 及びアフォーカルズーム光学系 2 0 4 によって与えられた所定の角度（開口数）を有する光束で照明されるため、そのファーフールド領域には、幅が実質的に零であるリング状の光強度分布ではなく、上記所定の角度に応じた幅を有する輪带状（ドーナッツ状）の光

強度分布が形成される。

図 1 4 A の例では、回折光学素子 2 5 1 (2 5 2 , 2 5 3) に後続するズーム光学系 2 0 6 が、そのファースフィールド領域を有限の距離 (ズーム光学系 2 0 6 の後側焦点位置、またはその近傍) に形成している。従って、ズーム光学系 2 0 6 の後側焦点位置またはその近傍の位置には、輪帯状の光強度分布が形成される。

ここで、ズーム光学系 2 0 6 の焦点距離を変更することにより、輪帯状の光強度分布はその輪帯比 (輪帯の外径に対する内径の比) を維持しつつ比例的に拡大・縮小する。また、前述の通り、アフォーカルズーム光学系 2 0 4 の角倍率を変更することにより輪帯の幅 (輪帯の外径と内径との差) を変更することが可能であるため、これらのアフォーカルズーム光学系 2 0 4 及びズーム光学系 2 0 6 の角倍率及び焦点距離を独立に調整することによって、輪帯比及び輪帯幅を独立に任意の値に設定することができる。

また、多重極照明用のマイクロフライアイ 2 3 2 及び回折光学素子 2 5 2 が共に照明光路中に設定された場合について簡単に説明する。前述の通り、マイクロフライアイ 2 3 2 に矩形断面を有する複数のレンズ面が形成されているため、マイクロフライアイ 2 3 2 から射出されてアフォーカルズーム光学系 2 0 4 に入射した光束は、アフォーカルズーム光学系 2 0 4 の物点をマイクロフライアイ 2 3 2 とした際の瞳面において矩形断面を有する光束となり、アフォーカルズーム光学系 2 0 4 の角倍率に応じた角度 (開口数) を有する光束として回折光学素子 2 5 2 に入射する。

回折光学素子 2 5 2 のファースフィールド領域、すなわちズーム光学系 2 0 6 の後側焦点位置、またはその近傍の位置には、光軸を原点とした X Y 座標において第 1 ~ 第 4 象限のそれぞれに位置

09703727.10200

5

する4つの矩形断面を有する複数の光束が到達する。

ここで、輪帯照明時と同様に、アフォーカルズーム光学系204の角倍率を変更することにより、ズーム光学系206の後側焦点位置またはその近傍の位置に形成される4つの矩形断面の光束の矩形の大きさがそれぞれ変更される。また、ズーム光学系206の焦点距離を変更することにより、ズーム光学系206の後側焦点位置またはその近傍の位置に形成される4つの矩形断面の光束の中心位置の光軸からの距離が変更される。

5

また、通常照明時について説明すると、このときには、ターレット230の穴部233と回折光学素子253とが照明光路に設定される。従って、アフォーカルズーム光学系204は、光遅延部202からの矩形断面の平行光束を受け、その角倍率に応じて平行光束のXY断面の幅を変更する機能を有する。すなわち、通常照明時には、アフォーカルズーム光学系204はビームエキスパンダとして機能する。

20

回折光学素子253は、前述の通り平行光束を受けてファースフィールド領域に円形断面を有する光束を形成するため、ズーム光学系206の後側焦点位置またはその近傍の位置には、円形断面を有する光束が形成される。ここで、ズーム光学系206の焦点距離を変更することにより、円形断面の光束の直径が変更される。

25

なお、図14Aに示す投影露光装置は、ターレット230を駆動してマイクロフライアイの交換・挿脱を行う第1駆動部234、アフォーカルズーム光学系204のレンズを駆動してその角倍率を変更する第2駆動部244、ターレット250を駆動して回折光学素子の交換を行う第3駆動部254、ズーム光学系206のレンズを駆動してその焦点距離を変更する第4駆動部264を有

しており、これらの第1～第4駆動部234, 244, 254, 264は、制御部214にそれぞれ接続されており、この制御部214からの指令により制御される。

さて、ズーム光学系206からの光束は、一対のマイクロフライアイを有するオブティカルインテグレータ207に入射する。以下、図15A～図17Cを参照して、オブティカルインテグレータ207について説明する。

図15Aはオブティカルインテグレータ207のYZ断面図であり、図15Bはオブティカルインテグレータ207中のマイクロフライアイ271(272)のXY平面図である。

図15Aに示すように、本実施形態のオブティカルインテグレータ207は、一対のマイクロフライアイ271, 272と、マイクロフライアイの入射側に位置する入射側カバーガラス273と、マイクロフライアイの射出側に位置する射出側カバーガラス274と、光源像拡大手段としての回折光学素子275とを有する。

ここで、一対のマイクロフライアイ271, 272は互いに同じ基本構成を有し、図15Bに示すように、2次元マトリックス状に且つ稠密に配列された多数の矩形断面の正屈折力の微小レンズ要素271a(272a)を備えた光学素子である。各マイクロフライアイ271, 272は、ほぼ正方形の平行平面ガラス基板270にエッチング処理を施して円形状の有効領域270aに微小レンズ面を形成することによって構成されている。

なお、図15Bでは、各マイクロフライアイ271(272)の入射側に形成される多数の微小レンズ面271a(272a)のみを図示したが、各マイクロフライアイ271(272)は、

入射側に形成された複数の微小レンズ面 271a (272a) のそれぞれと共軸に、その射出側に形成された微小レンズ面 271b (272b) を有している。この微小レンズ面 271b (272b) も、平行平面ガラス基板 270 に施されたエッチング処理により、円形状の有効領域に形成される。

本実施形態におけるオプティカルインテグレータ 207 において、有効領域 270a 内には、1000 個～50000 個、或いはそれ以上の数の微小レンズ面 271a (271b, 272a, 272b) が形成されている。この微小レンズ面の大きさは例えば 0.54mm×0.2mm 程度、有効領域 270a の直径を例えば $\phi 86\text{mm}$ とすることができ、この場合には微小レンズ面の個数を 50000 個程度とすることができる。なお、図面では、その明瞭化のためにマイクロフライアイに形成される微小レンズ面の数を実際より非常に少なく表している。

後述するように、マイクロフライアイ 271 の入射面は、被照射面であるウエハ W 面と共役に配置されるため、1つの微小レンズ面の外形はウエハ W 上の照明領域と相似形状—本実施形態では長方形—となっている。

図 16 は、一对のマイクロフライアイ 271, 272 の光路図である。図 16 に示すように、マイクロフライアイ 271 の一对の微小レンズ面 271a, 271b と、マイクロフライアイ 272 の一对の微小レンズ面 272a, 272b とは、図中一点鎖線で示す光軸にそって共軸に配置されている。

図 16 に実線で示すように、光軸に沿って配列された微小レンズ面 271a, 271b, 272a, 272b からなる合成光学系に平行に入射した光束は、その合成光学系の後側焦点面に光源

像を形成する。また、図 16 に破線で示すように、光軸に沿って配列された微小レンズ面 271a, 271b, 272a, 272b からなる合成光学系の前側焦点面がマイクロフライアイ 271 の入射面（微小レンズ面 271a）と一致するように構成されている。

光軸に沿って配置される微小レンズ面以外の微小レンズ面においても、マイクロフライアイ 271 の入射側の複数の微小レンズ面と射出側の複数の微小レンズ面、マイクロフライアイ 272 の入射側の複数の微小レンズ面と射出側の複数の微小レンズ面のそれぞれも、光軸に平行な軸線に対して共軸となるように位置決めされている。

従って、一对のマイクロフライアイ 271, 272 の後側焦点面には、多数の光源像の集合体からなる 2 次光源が形成される。なお、本実施形態では、一对のマイクロフライアイ 271, 272 の後側焦点面が照明光学装置の瞳（照明瞳）となっている。

ここで、2 次光源の形状は、オブティカルインテグレータ 207 に入射する光束の断面形状とほぼ相似の形状となり、例えば輪帯照明用のマイクロフライアイ 231 と輪帯照明用の回折光学素子 251 とが照明光路中に設定される場合には、輪帯状の 2 次光源が照明瞳に形成され、また多重極（4 重極）照明用のマイクロフライアイ 232 と多重極（4 重極）照明用の回折光学素子 252 とが照明光路中に設定される場合には、光軸に対して偏心した 4 つの矩形断面を有する 2 次光源（光軸を原点とした X Y 座標において第 1～第 4 象限のそれぞれに位置する矩形断面の 4 つの光源像の集合体）が照明瞳に形成される。また、通常照明時には、円形状の 2 次光源が照明瞳に形成される。

5

さて、図14Aに戻って、照明瞳（一对のマイクロフライアイ271, 272の後側焦点面）の位置には、円形状の開口径を連続的に変更することが可能な虹彩絞り208が配置されており、この虹彩絞り208の位置に形成される2次光源からの光束は、前側焦点が虹彩絞り208の位置に位置決めされたズームコンデンサ光学系209により集光され、その後側焦点の近傍に位置決めされた照明視野絞り（レチクルブラインド）210を重疊的に照明する。なお、本実施形態において、ズームコンデンサ光学系209は、 $f \sin \theta$ の射影特性を有するズームレンズであるが、その作用については後述する。なお、虹彩絞り208の開口径は、上述の制御部214により制御される第5駆動部284の駆動により所定の開口径に設定される。

5

照明視野絞り210の開口部を通過した光束は、照明視野絞りの開口部の像をレチクルRのパターン面に形成する照明視野絞り結像光学系211（ブラインド結像系）を介して、レチクルRのパターン面に照明視野絞りの開口部と相似形状の照明領域を形成する。

20

この照明領域内に位置するレチクルパターンからの光は、レチクルRとウエハWとの間に位置する投影光学系PLを介してウエハW上に達し、ウエハW上の露光領域内にレチクルパターンの像を形成する。ここで、レチクルRは少なくともY方向に移動可能なレチクルステージ212上に載置されており、ウエハWは少なくともXY平面内で2次的に移動可能なウエハステージ213上に載置されている。

25

本実施形態では、ウエハW上の露光領域、レチクルR上の照明領域の形状はX方向に長手方向を有する長方形状（スロット形状）

であり、投影光学系P Lに対してレチクルRとウエハWとを、投影光学系の投影倍率（例えば、 $-1/4$ 倍、 $-1/5$ 倍、 $-1/6$ 倍等）に応じた速度比で移動させることにより、レチクルRのパターン形成領域に形成されるパターン像をウエハW上の1つのショット領域に転写することができる。

さて、第6実施形態においては、輪帯形状または多重極形状の2次光源をマイクロフライアイ231、232及び回折光学素子251、252を用いて実質的に光量ロスなく形成している。このような光軸を含む瞳中心領域での光強度が瞳中心領域の周囲の領域よりも小さく設定された光強度分布を有する2次光源（輪帯形状や多重極形状等の2次光源）では、この2次光源を形成する多数の光源像のエネルギー密度が高くなる。

この場合、多数の光源像の近傍に位置するマイクロフライアイ272や射出側カバーガラス274では、それらの表面に設けられる反射防止膜や基板自体が破壊される恐れや、破壊までは至らないまでも透過率の劣化や経時変化を招く恐れがある。

そこで、第6実施形態では、オブティカルインテグレータ207の一部を構成するマイクロフライアイ271の光源側に光源像拡大手段としての回折光学素子275を配置している。以下、図17A～図17C及び図18を参照して光源像拡大手段としての回折光学素子275の機能について説明する。

図17A～図17Cは、回折光学素子275の原理説明図であり、ここには回折光学素子275と、マイクロフライアイ271の入射側レンズ面271aとを示している。図17Aに示すように、回折光学素子275は、そこに入射する平行光束を所定の発散角 θ で発散させる機能を有する。このとき、回折光学素子27

5 のファーフールド領域 F F では、図 1 7 B に示すように X Y 平面内での断面がほぼ円形状となるファーフールドパターン F F P が形成される。また、回折光学素子 2 7 5 は、図 1 7 C に示すように X Y 平面内での断面がほぼ長方形形状となるファーフールドパターン F F P を形成しても良い。

図 1 8 は、回折光学素子 2 7 5 からの発散光束の光路を示す図である。図 1 8 においては、回折光学素子 2 7 5 からの発散光束のうち、光軸と平行に進行する平行光束を実線で示し、光軸に対して斜め上側に進行する平行光束を破線破線で示し、光軸に対して斜め下側へ向かう平行光束を二点鎖線で示している。

ここで、図中実線で示す光軸と平行な平行光束は、一対のマイクロフライアイ 2 7 1, 2 7 2 の各レンズ面 2 7 1 a ~ 2 7 2 b により屈折されて虹彩絞り 2 0 8 の位置（照明瞳の位置）で光軸と交差する。すなわち、この光軸上の位置には光軸と平行な平行光束に基づく光源像が形成される。一方、図中破線で示す光軸に対して斜め上側へ進行する平行光束は、レンズ面 2 7 1 a ~ 2 7 2 b により屈折されて虹彩絞り 2 0 8 の位置（照明瞳の位置）の光軸より上側に集光し、図中二点差線で示す光軸に対して斜め下側へ進行する平行光束は、レンズ面 2 7 1 a ~ 2 7 2 b により屈折されて虹彩絞り 2 0 8 の位置（照明瞳の位置）の光軸より下側に集光する。回折光学素子 2 7 5 から発散する光の角度分布は離散的ではなく連続的であるため、虹彩絞り 2 0 8 の位置には、分割された光源像ではなく拡大された光源像 S I が形成される。

図 1 8 では、光軸に沿って配列されるレンズ面 2 7 1 a ~ 2 7 2 b による光源像 S I について述べたが、実際にはマイクロフライアイ 2 7 1, 2 7 2 は光軸に平行な複数の軸線に沿って配列さ

れる複数のレンズ面の組を有しており、照明開口絞りの位置には、複数の拡大された光源像 S I が形成されることになる。

5 このように拡大された光源像 S I においては、エネルギー密度が低くなるため、マイクロフライアイ 2 7 2 や射出側カバーガラス 2 7 4 における反射防止膜や基板自体が破壊される恐れや、破壊までは至らないまでも透過率の劣化や経時変化を招く恐れはない。従って、安定した被照射面を照明することができる。

さて、本実施形態においては、光源像拡大手段としての回折光学素子 2 7 5 の発散角は、オブティカルインテグレータ 2 0 7 において照明光の損失が生じないように定められることが好ましい。すなわち、本実施形態のようにオブティカルインテグレータ 2 0 7 が、2 次元状に配列された複数の微小レンズ面（2 7 1 a, 2 7 1 b, 2 7 2 a, または 2 7 2 b）を有する場合には、拡大された光源像 S I の大きさが微小レンズ面（2 7 1 a, 2 7 1 b, 2 7 2 a, または 2 7 2 b）の XY 平面内での大きさよりも小さくなるように、回折光学素子 2 7 5 の発散角を定めることが好ましい。

ここで、回折光学素子 2 7 5 の発散角が、拡大された光源像 S I の大きさがオブティカルインテグレータ 2 0 7 の微小レンズ面（2 7 1 a, 2 7 1 b, 2 7 2 a, または 2 7 2 b）の XY 平面内での大きさよりも大きくなる場合には、複数の微小レンズ面（2 7 1 a, 2 7 1 b, 2 7 2 a, または 2 7 2 b）以外へ光束が進行してしまい、この光束は 2 次光源形成に寄与しなくなるため、光量損失が生じる。なお、拡大された光源像 S I の大きさは、回折光学素子 2 7 5 の発散角だけではなく、マイクロフライアイ 2 7 1, 2 7 2 の焦点距離や、回折光学素子 2 7 5 へ入射する光束

の角度（開口数）や回折光学素子 275 とマイクロフライアイ 271 との距離などにより定まる。

本実施形態では、回折光学素子 275 の発散角を $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 程度としており、光源像 S I の大きさを、回折光学素子 275 を挿入しない場合の光源像の大きさに対して 2 倍程度となるようにしている。

さて、図 17A に戻って、光源像拡大手段としての回折光学素子 275 は、そのニアフィールド領域 NF の近傍にマイクロフライアイ 271 の入射側レンズ面 271a が位置するように配置される。ここで、マイクロフライアイ 271 の複数の入射側レンズ面 271a のそれぞれは、ウエハ W 上の露光領域とほぼ共役な配置となっているため、入射側レンズ面 271a 内で照度分布にむらがあると、ウエハ W 上の露光領域内の照度分布が不均一となる恐れがある。

従って、光源像拡大手段としての回折光学素子は、そのニアフィールド領域の照度分布がほぼ均一であることが好ましい。

さて、本実施形態のようにオブティカルインテグレータによる複数の光源像のそれぞれを拡大すれば、 σ 値（投影光学系のレチクル側開口数に対する照明光学装置のレチクル側開口数）を連続的に設定できる効果も得ることができる。以下、図 19A 及び図 19B を参照して説明する。

図 19A 及び図 19B は、オブティカルインテグレータをその射出面側から見た平面図であり、図 19A は拡大されない光源像 S が形成されている状態を示し、図 19B は拡大された光源像 S が形成されている状態を示す。

図 19A に示すように拡大されない光源像 S が形成される場合

09703727-110200

5

は、複数の光源像S同士が離散的に配置されるため、図中実線で示すように2次光源の外径を離散的にしか設定できない。一方、図19Bに示すように拡大された光源像SIが形成される場合は、複数の拡大された光源像ISの間隔が稠密となるため、図中破線で示すように2次光源の外径をほぼ連続的に設定することができる。これにより、 σ 値を連続的に制御して投影露光装置の結像性能を向上させることができる効果を得ることができる。

5

なお、本実施形態のようにオブティカルインテグレータによる複数の光源像のそれぞれを拡大することは、オブティカルインテグレータを構成する複数のレンズ面の個数が少ない（複数のレンズ面の大きさが大きい）場合に特に効果的である。

20

また、本実施形態のようにオブティカルインテグレータによる複数の光源像のそれぞれを拡大することにより、フレア光による光学部材への損傷を低減できる効果も生じる。オブティカルインテグレータからウエハまでの光学系の間でフレア光が発生し、そのフレア光が当該光学系の光学部材の内部またはその近傍に焦点を結ぶような場合を想定する。この場合、光源像そのものの大きさが大きければ、フレア光の集光位置におけるエネルギー自体も低いものとなるため、光学部材（或いは光学部材上の薄膜）の破壊を防止したり、破壊へ至るまでの期間、すなわち寿命を延ばすことができる効果も生じる。

25

さて、第6実施形態では、光源像拡大手段として回折光学素子275を用いたが、光源像拡大手段としては、屈折光学素子であっても拡散板であっても良い。ここで、光源像拡大手段として回折光学素子や拡散板を用いる場合であっても、光源像拡大手段からの発散角の範囲を所望の値に設定し、光源像拡大手段のファー

フィールド領域での照度分布と、ニアフィールド領域（或いはオブティカルインテグレータにおける被照射面と共役な位置）での照度分布とが実質的に均一な分布であることが好ましい。

また、上述の実施形態では、図 1 7 B 及び図 1 7 C に示したように、光源像拡大手段がファーフールド領域に形成するファーフールドパターンの形状を円形状または長方形としたが、このファーフールドパターンの形状はこれには限られない。例えば、矩形形状（正方形形状及び長方形形状）、六角形状、台形状、菱形形状、八角形状等の多角形状、楕円形状、円弧形状など種々の形状を取りうる。但し、光源像形成手段のファーフールドパターンの形状は、被照射面に形成される照明領域の形状と相似であることが好ましい。

さて、上述の実施形態では、オブティカルインテグレータ 2 0 7 の射出面に形成される 2 次光源からの光を集光して、照明視野絞り 2 1 0 を重疊的に照明するためのコンデンサ光学系 2 0 9 を、その射影特性が $F \sin \theta$ となるように構成している。具体的には、コンデンサ光学系 2 0 9 の焦点距離を F とし、コンデンサ光学系 2 0 9 の前側焦点位置が入射瞳であるとした場合の主光線を考え、当該主光線のコンデンサ光学系 2 0 9 への入射角を θ とし、この主光線がコンデンサ光学系 2 0 9 から射出されて被照射面またはそれと共役な面へ入射する位置の光軸からの距離を Y とするとき、

$$(1) \quad Y = F \sin \theta$$

の射影関係を満足している。なお、本実施形態におけるコンデンサ光学系 2 0 9 は焦点距離が可変なズーム光学系であるが、ズーミングに際しては上記 (1) 式の射影関係をほぼ維持している。

このようにコンデンサ光学系 2 0 9 を構成した場合、2 次光源

が完全拡散面光源と近似的に見なすことができるときには、照明視野絞り 210 が位置する XY 平面内における照度及び開口数を XY 面内位置にかかわらず一定とすることができる。

5 そして、本実施形態では、オブティカルインテグレータ 207 により形成される 2 次光源が完全拡散面光源と近似的にみなすことができるようにするために、オブティカルインテグレータ 207 が有する微小レンズ面 271a, 272b, 272a, 272b を非球面形状に形成して、オブティカルインテグレータ 207 の球面収差の補正とコマ収差の補正（正弦条件の満足）とを達成するようにしている。従って、本実施形態では、照明視野絞り 210 には、均一照度かつ均一開口数の照明光束が達し、ひいては被照射面であるウエハ W 上の露光領域全域において照度の均一性及び開口数の均一性を達成することが可能である。

5 なお、本例では、製造を容易とするために、全ての微小レンズ面 271a, 272b, 272a, 272b を同じ非球面形状に形成しているが、これらの微小レンズ面の形状は互いに異なるものであっても良く、非球面も全ての微小レンズ面に設ける必要もない。

20 また、オブティカルインテグレータ 207 が有する全ての微小レンズ面 271a, 272b, 272a, 272b を球面形状に形成しても良い。この場合、各微小レンズ面の面形状を互いに異ならせるようにすれば、球面収差を補正しかつ正弦条件を満足することが可能となる。

25 また、上記実施形態では、オブティカルインテグレータ 207 としてマイクロフライアイ 271, 272 を適用しているが、その代わりに、複数の棒状レンズを 2 次元マトリックス状に集積す

ることによって構成されるフライアイレンズを適用しても良い。

ここで、マイクロフライアイとフライアイレンズとは、多数の微小レンズ面が２次元マトリックス状に配列されている点で共通である。但し、マイクロフライアイは、多数の微小レンズ要素が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている点で、互いに隔絶されたレンズ素子からなるフライアイレンズとは異なっている。

さらに、マイクロフライアイでは、フライアイレンズと比較して、その微小レンズ面の大きさを微小にできるという有利な点がある。ここで、微小レンズ面の大きさを微小にすることによって、オブティカルインテグレータ 207 の波面分割効果が非常に大きくなるため、被照射面（ウエハ W 面）での照度均一性を向上させることが可能となり、さらに照明条件を変更（通常照明から変形照明等）した場合においても、被照射面での照度分布の変動やテレセントリシティの変動を非常に小さい値に抑えることが可能となる。

また、上記実施形態では、マイクロフライアイ 271, 272 及び光源像拡大手段としての回折光学素子 275 の表面が光化学反応により汚染されるのを回避するために、入射側カバーガラス 273 及び射出側カバーガラス 274 を備えている。従って、光化学反応による汚染が起こったとしても、一对のマイクロフライアイ 271, 272 や回折光学素子 275 を交換することなく、一对のカバーガラス 273, 274 だけを交換すればよい。なお、一对のカバーガラス 273, 274 の間の光路中には、クリーン度を高めた空気、ドライエア、および／または窒素やヘリウム等の不活性ガスがバージされることが好ましい。

なお、このようなカバーガラス 273, 274 は、上述のフライアイレンズにも有効である。

また、上述の例では、入射側カバーガラス 273 とマイクロフライアイ 271 との間に回折光学素子 275 を配置したが、入射側カバーガラス 273 の射出側（マイクロフライアイ側）の平面に回折面、屈折面、または光拡散面を形成して、入射側カバーガラス 273 の射出面に光源像拡大手段を設けても良い。

また、被照射面（ウエハW面）での照度分布を制御するために、オブティカルインテグレータよりも光源側の光路であって被照射面とほぼ共役な位置に透過率分布を調整するための光学部材（透過率分布調整部材）を配置する場合には、入射側カバーガラス 273 とマイクロフライアイ 271 との間の光路中に配置することが好ましい。これにより、透過率分布調整部材の汚染を低減することが可能である。なお、この透過率分布調整部材は、光源像拡大手段としての回折光学素子 275 とマイクロフライアイ 271（2 次元状に配列された複数のレンズ面）との間の光路中に配置することが好ましい。

このような透過率分布調整部材は、例えば特開昭 64-42821 号公報、特開平 7-130600 号公報、USP 5615047、特開平 9-223661 号公報、特開平 10-319321 号公報、USP 6049374、特開 2000-21750 号公報、特開 2000-39505 号公報、WO 99/36832 号公報などに開示されている。

さて、上述の実施形態において、オブティカルインテグレータ 207 の入射面近傍の位置がその入射側のズーム光学系 206 の後側焦点位置となっているため、製造誤差等の要因により回折光

学素子 251～253 から 0 次光成分が射出されてしまう場合には、この 0 次光成分がノイズ光となる恐れがある。

また、フライアイレンズのように 2 次元状に配列された複数のレンズ面が密でない場合や、マイクロフライアイの製造上の都合により複数のレンズ面が密でないように形成される場合においては、複数のレンズ面の間からの漏れ光がノイズ光となる恐れがある。

このような場合には、射出側カバーガラスに上記 0 次光成分及び漏れ光を遮光するための遮光部材を設ければよい。以下、図 20A 及び図 20B を参照して射出側カバーガラスに設けられた遮光部材について説明する。

図 20A 及び図 20B は、射出側カバーガラスに遮光部材を設けたオプティカルインテグレータの構成を説明するための図であって、図 20A は YZ 断面図、図 20B は射出側カバーガラスとフライアイレンズとの位置関係を示す XY 平面図である。なお、図 20A 及び図 20B に示す例では、オプティカルインテグレータはマイクロフライアイではなく、フライアイレンズを適用している。

図 20A に示すオプティカルインテグレータは、光の入射側から順に、入射側カバーガラス 277、光源像拡大手段としての回折光学素子 275、XY 平面内で 2 次元マトリックス状に集積された複数の棒状レンズ素子を有するフライアイレンズ 276、及び射出側カバーガラス 278 とを備えている。これらの光学部材は、図中一点鎖線で示す光軸に沿って共軸となるように配置されている。

ここで、射出側カバーガラス 278 には、遮光パターン 278

5

15

20

25

に構成されている。ズームコンデンサ光学系209の複数のレンズ群の光軸方向への移動は、第6駆動部294により行われる。

5 このようにズームコンデンサ光学系209の焦点距離を変更することにより、照明視野絞り210の位置に形成される照明領域の大きさを変更することが可能である。

ここで、照明視野絞り210は、例えば4枚の遮光羽根を有し、これらのうちの2つの遮光羽根は、図中X方向に沿った遮光辺の対を有し、残りの2つの遮光羽根は、図中Y方向に沿った遮光辺の対を有している。これら4枚の遮光羽根は第7駆動部297によって駆動され、4枚の遮光羽根の遮光辺により形成される長方形形状の開口部の縦横の大きさを任意の値に設定することが可能である。なお、4枚の遮光羽根の代わりに、L字状の直交した遮光辺を有しXY平面内で移動可能な2組の遮光部材を有する構成であつても良い。

これにより、使用するレチクルの特性に応じてレチクル上に形成される照明領域の大きさを光量損失無しに変更することが可能である。なお、ズームコンデンサ光学系209の焦点距離を変更することにより、照明視野絞り210の位置、ひいてはレチクルR上またはウエハW上での照明光の開口数が増減してしまうが、これは前述のズーム光学系206の焦点距離を変更することによる2次光源の大きさの変更を行うことにより補償することができる。

20 なお、これらの第6駆動部294及び第7駆動部297も制御部214により制御される。

25 次に、制御部214の動作について説明する。制御部214は、例えばコンソール、またはレチクルRの搬送路中に配置されたレ

チクルバーコードリーダからなる入力部 2 1 5 に接続されている。

そして、順次露光すべき各種のレチクルに関する情報、各種レチクルの照明条件に関する情報、各種ウエハの露光条件に関する情報などは、この入力部 2 1 5 を介して制御部 2 1 4 に入力される。

制御部 2 1 4 は、各種のレチクルやウエハに関して、照明領域（露光領域）の所望の大きさ、最適な照明開口数、最適な線幅（解像度）、所望の焦点深度等の情報を内部のメモリー内に記憶しており、入力部 2 1 5 からの入力に応答して第 1 ～第 7 駆動部に適切な制御信号を供給する。

例えば、所望の大きさの照明領域、最適な照明開口数、最適な解像度及び所望の焦点深度のもとで通常円形照明する場合、第 1 駆動部 2 3 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて穴部 2 3 3 を照明光路内に位置決めし、第 3 駆動部 2 5 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて通常照明用の回折光学素子 2 5 3 を照明光路内に設定する。そして、レチクル R 上において所望の大きさを有する照明領域を得るために、第 6 駆動部 2 9 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいてズームコンデンサ光学系 2 0 9 の焦点距離を設定し、第 7 駆動部 2 9 7 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて照明視野絞り 2 1 0 の開口部の大きさ・形状を設定する。また、レチクル R 上において所望の照明開口数を得るために、第 4 駆動部 2 6 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいてズーム光学系 2 0 6 の焦点距離を設定する。さらに、オブティカルインテグレータ 2 0 7 が形成する円形状の 2 次光源の外径を光量損失を良好に抑えた状態で規定するために、第 5 駆動部 2 8 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて虹彩絞り 2 0 8 の開口径を設定する。

なお、本実施形態においては、ズーム光学系206によって、光束を遮光することなく任意の大きさの円形状の2次光源を形成しているため、虹彩絞り208は、円形状の2次光源の外側のフレア光を遮光するのに十分な開口径に設定すれば良い。

- 5 また、第4駆動部264によるズーム光学系206の焦点距離の変更動作と、第6駆動部294によるズームコンデンサ光学系209の焦点距離の変更動作とを組み合わせることにより、レチクルRでの照明領域の大きさと照明開口数とを互いに独立に変更することが可能である。

また、所望の大きさの照明領域、最適な照明開口数、最適な解像度及び所望の焦点深度のもとで輪帯照明を行う場合、第1駆動部234は制御部214からの指令に基づいて輪帯照明用のマイクロフライアイ231を照明光路内に位置決めし、第3駆動部は制御部214からの指令に基づいて輪帯照明用の回折光学素子251を照明光路内に設定する。そして、レチクルR上において所望の大きさを有する照明領域を得るために、第6駆動部294は制御部214からの指令に基づいてズームコンデンサ光学系209の焦点距離を設定し、第7駆動部297は制御部214からの指令に基づいて照明視野絞り210の開口部の大きさ・形状を設定する。また、レチクルR上において所望の照明開口数を得るために、第4駆動部264は制御部214からの指令に基づいてズーム光学系206の焦点距離を設定する。さらに、オブティカルインテグレータ207が形成する輪帯形状の2次光源の外径を光量損失を良好に抑えた状態で規定するために、第5駆動部284は制御部214からの指令に基づいて虹彩絞り208の開口径を設定する。

05703727 " 110200
5 なお、本実施形態においては、輪帯照明用の回折光学素子 2 5 1 とズーム光学系 2 0 4，2 0 6 とによって、光束を遮光することなく任意の輪帯比及び任意の外径を有する輪帯状の 2 次光源を形成しているため、虹彩絞り 2 0 8 は、輪帯状の 2 次光源の外側のフレア光を遮光するのに十分な開口径に設定すれば良い。

また、上述の輪帯照明時の照明開口数とは、輪帯状の 2 次光源の最も外側の位置から射出される光線により定められるものである。

さらに、所望の大きさの照明領域、最適な照明開口数、最適な解像度及び所望の焦点深度のもとで 4 重極照明を行う場合、第 1 駆動部 2 3 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて 4 重極照明用のマイクロフライアイ 2 3 1 を照明光路内に位置決めし、第 3 駆動部は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて 4 重極照明用の回折光学素子 2 5 1 を照明光路内に設定する。そして、レチクル R 上において所望の大きさを有する照明領域を得るために、第 6 駆動部 2 9 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいてズームコンデンサ光学系 2 0 9 の焦点距離を設定し、第 7 駆動部 2 9 7 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて照明視野絞り 2 1 0 の開口部の大きさ・形状を設定する。また、レチクル R 上において所望の照明開口数を得るために、第 4 駆動部 2 6 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいてズーム光学系 2 0 6 の焦点距離を設定する。さらに、4 重極形状の 2 次光源の外側のフレア光を遮光するために第 5 駆動部 2 8 4 は制御部 2 1 4 からの指令に基づいて虹彩絞り 2 0 8 の開口径を設定する。

25 なお、上述の 4 重極照明時の照明開口数とは、4 重極形状の 2 次光源のうち、最も光軸から離れた位置から射出される光線によ

り定められるものである。

また、上述の例では、2次光源からの光束を被照射面と共役な照明視野絞りへ導くためのコンデンサ光学系（ズームコンデンサ光学系209）を焦点距離が可変となるように構成したが、この
5 コンデンサ光学系は焦点距離が実質的に固定であっても良い。

上述のように、レチクルRへの照明条件（ウエハWへの露光条件）を変更すると、ウエハW上の露光領域内における照度分布が変動してしまう場合がある。このような場合、一括露光型の投影露光装置では露光領域内に不均一な照度分布に対応した露光量分布が生じ、走査型露光装置では、非走査方向に沿った露光量分布が生じる。

本実施形態の場合、オブティカルインテグレータによる波面分割数を非常に大きくしているため、照明条件（露光条件）を変更しても被照射面での照度ムラの変動や、そこでのテレセントリック性の変動は十分に小さいものとなっている。

ただし、その変動量が許容できない場合には、レチクルRへの照明条件（ウエハWへの露光条件）の変更に伴う露光領域内の照度分布の変動を予め求めておき、照明条件（または露光条件）変更時に照度分布（非走査方向（X方向）に沿った露光量分布）の
20 補正を行うことが好ましい。

この照度分布（または露光量分布）補正する手法としては、例えば：

（1）ズームコンデンサ光学系209を構成する少なくとも一部のレンズ群を、光軸方向、光軸直交方向、及び光軸直交方向を軸とする回転方向のうち少なくとも一方向に関して移動させる手法；
25

(2) オプティカルインテグレータ 207 とズームコンデンサ光学系 209 との間の光路中 (2 次光源の光軸上から射出される光線が光軸と非平行となる光路) に、入射角度に応じて透過率が異なる角度特性を有するフィルターを、互いに異なる角度特性となるような複数の組だけ準備しておき、それら複数組のフィルターを交換する手法、またはフィルター交換に加えてフィルターの傾き角度を調整する手法；

(3) オプティカルインテグレータ 207 よりも光源側の光路であって被照射面とほぼ共役に位置決めされて透過率分布を調整するための透過率分布調整部材を、互いに異なる透過率分布となるように複数の組だけ準備しておき、それら複数組の透過率分布調整部材を交換する手法；及び

(4) 照明視野絞り 210 の開口形状を、走査方向に沿った開口幅が非走査方向において所定の分布を持つように変形させる手法；

などがある。一括露光型の投影露光装置においては上記 (1) ～ (3) の手法のいずれか、または上記 (1) ～ (3) の手法を任意に組み合わせることにより、被照射面上での照度分布を任意の分布とすることができる。また、走査型露光装置では、上記 (1) ～ (4) の手法のいずれか、または上記 (1) ～ (4) の手法を任意に組み合わせることにより、被照射面上での非走査方向における露光量分布を任意に制御することができる。

なお、上記 (1) の手法は、例えば特開平 10-275771 号公報 (USP 6127095) などに開示されている手法を用いることができる。また、上記 (2) の手法は、例えば特開平 9-190969 号公報に開示されている手法を用いることができ

09703727-110200

る。そして、上記（３）の手法は、上述の特開昭６４－４２８２
 １号公報、特開平７－１３０６００号公報（ＵＳＰ５６１５０４
 ７）、特開平９－２２３６６１号公報、特開平１０－３１９３２
 １号公報（ＵＳＰ６０４９３７４）、特開２０００－２１７５０
 号公報、特開２０００－３９５０５号公報、ＷＯ９９／３６８３
 ２号公報などに開示された透過率分布調整部材を交換可能に設け
 れば良い。上記（４）の手法は、例えば特開平７－１４２３１３
 号公報（ＥＰ６３３５０６Ａ）特開平１０－３４０８５４号公報
 （ＵＳＰ５８９５７３７）、特開２０００－５８４４２号公報（Ｅ
 Ｐ９５２４９１Ａ）、特開２０００－８２６５５号公報、特開２
 ０００－１１４１６４号公報などに開示されている手法を用いる
 ことができる。

なお、照度ムラの補正手法については、レチクルＲへの照明条
 件（ウエハＷへの露光条件）の変更に伴う露光領域内の照度分布
 の変動を予め求めておく手法の他に、照明条件の変更時にウエハ
 Ｗ上での照度分布の変動を測定し、測定された変動量を補正する
 手法を用いても良い。

また、テレセントリック性の変動の補正方法としては、例えば
 オプティカルインテグレータ２０７の光軸方向の位置を調整する
 手法や、ズームコンデンサ光学系２０９の一部のレンズ群を傾け
 る手法などが挙げられる。

さて、上述の実施形態においては、光量損失なく輪帯形状、多
 重極形状、円形状の２次光源を形成するために回折光学素子２５
 １～２５３を用いたが、回折光学素子の代わりに、屈折作用によ
 りファーフールドに輪帯形状、多重極形状、または円形状の照
 明領域を形成する屈折光学素子を用いても良い。このような屈折

光学素子としては、例えばW O 9 9 / 4 9 5 0 5 号公報に開示されている。

ところで、本実施形態においては、照明光学装置を構成する各
 レンズ素子（アフォーカルズーム光学系204、ズーム光学系2
 06、ズームコンデンサ光学系209、及び照明視野絞り結像光
 学系211中のレンズ素子）や投影光学系PLを構成する各レン
 ズ素子だけではなく、マイクロフライアイ231、232、27
 1、272、回折光学素子251～253、75、及びカバーガ
 ラス73、274の表面には、照明光の波長に関して反射防止が
 なされた反射防止膜が形成されている。特にマイクロフライ
 アイ231、232、271、272、及び回折光学素子251～2
 53、275に反射防止膜が形成されているため、ここでの反射
 防止を抑えて、被照射面上での照度を効率良く高めることが可能
 である。とりわけ、回折光学素子に関しては、回折効率が100%
 でないことによる光量損失があるため、この反射防止膜による光
 量損失の低減は、被照射面上での照度を高める上で重要である。

ここで、反射防止膜を構成する材料としては、AlF₃（フッ化
 アルミニウム）；BaF₂（フッ化バリウム）；CaF₂（フッ化カ
 ルシウム）；CeF₃（フッ化セリウム）；CsF（フッ化セシウム）；
 ErF₃（フッ化エルビウム）；GdF₃（フッ化ガドミウム）；H
 fF₂（フッ化ハフニウム）LaF₃（フッ化ランタン）；LiF（フ
 ッ化リチウム）；MgF₂（フッ化マグネシウム）；NaF（フッ化
 ナトリウム）；Na₃AlF₆（クリオライト）；Na₅Al₃F₁₄（チ
 オライト）；NdF₃（フッ化ネオジム）；PbF₂（フッ化鉛）；S
 cF₃（フッ化スカンジウム）；SrF₂（フッ化ストロンチウム）；
 TbF₃（フッ化テルビウム）；ThF₄（フッ化トリウム）；YF₃

09703727.10200

5 (フッ化イットリウム); YbF₃ (フッ化イッテルビウム); SmF₃ (フッ化サマリウム) DyF₃ (フッ化ジスプロシウム) PrF₃ (フッ化プラセオジム); EuF₃ (フッ化ユーロビウム); HoF₃ (フッ化ホルミウム); フッ化ビスマス (BiF₂); 四フッ化エチレン樹脂 (ポリテトラフルオロエチレン, PTFE), 三フッ化塩化メチレン樹脂 (ポリクロロトリフルオロエチレン, PCTFE), フッ化ビニル樹脂 (ポリフッ化ビニル, PVF), 四フッ化エチレン-六フッ化プロピレン共重合体 (フッ化エチレンプロピレン樹脂, FEP), フッ化ビニリデン樹脂 (ポリフッ化ビニリデン, PVDF), 及びポリアセタール (POM) からなる群から選択された少なくとも1つの材料からなるフッ素樹脂; Al₂O₃ (酸化アルミニウム); SiO₂ (酸化シリコン); GeO₂ (酸化ゲルマニウム); ZrO₂ (酸化ジルコニウム); TiO₂ (酸化チタン); Ta₂O₅ (酸化タンタル); Nb₂O₅ (酸化ニオブ); HfO₂ (酸化ハフニウム); CeO₂ (酸化セリウム); MgO (酸化マグネシウム); Nd₂O₃ (酸化ネオジム); Gd₂O₃ (酸化ガドリニウム); ThO₂ (酸化トリウム); Y₂O₃ (酸化イットリウム); Sc₂O₃ (酸化スカンジウム); La₂O₃ (酸化ランタン); Pr₆O₁₁ (酸化プラセオジム) ZnO (酸化亜鉛); PbO (酸化鉛); 酸化シリコンの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複化合物群; 及び酸化ハフニウムの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複化合物群; 酸化アルミニウムの群から選ばれた2つ以上の材料からなる混合物群及び複化合物群; が挙げられる。

25 従って、本実施形態では、上述の群から選ばれた1種類以上の材料を反射防止膜の材料として用いる。

ここで、上記材料からなる反射防止膜をマイクロフライアイ 2 3 1, 2 3 2, 2 7 1, 2 7 2、及び回折光学素子 2 5 1～2 5 3, 2 7 5 に形成する手法としては、例えば真空蒸着法、イオンアシスト蒸着法、イオンプレーティング法、クラスターイオンビーム法、スパッタリング法、イオンビームスパッタリング法、C V D (化学蒸着) 法、浸漬コーティング法、スピニングコーティング法、メネスカスコーティング法、ゾルゲル法などを適用することができる。

ここで、簡単にマイクロフライアイ 2 3 1, 2 3 2, 2 7 1, 2 7 2、及び回折光学素子 2 5 1～2 5 3, 2 7 5 の製造手法について説明する。まず、マイクロフライアイのレンズ面の形状分布、または回折光学素子の回折パターンを設計する。次に、設計データに基づいて、露光原版を作成する。そして、マイクロフライアイまたは回折光学素子の基板を準備し、当該基板上に感光性材料を塗布する。感光材料が塗布された基板に対して露光原版上のパターンをリソグラフィの手法で転写する。その後、当該基板を現像し、現像されたパターンをマスクとして基板をエッチングする。このエッチングにより基板には複数のレンズ面 (マイクロフライアイの場合)、または回折パターン (回折光学素子) が形成される。なお、この露光・現像・エッチングのステップは 1 回には限定されない。その後、感光性材料を基板から取り除き、複数のレンズ面 (マイクロフライアイの場合)、または回折パターン (回折光学素子) が形成された基板に対して、上記の材料からなる薄膜を上述の手法により基板表面に形成して、反射防止膜を形成する。

これにより、マイクロフライアイ 2 3 1, 2 3 2, 2 7 1, 2

7 2、及び回折光学素子 2 5 1 ~ 2 5 3、2 7 5 での光量損失や、これらの界面での反射によるフレア光を低減させて、照度均一性が良好なもとで被照射面上（ウエハ W 面上）での照度を高めることが可能となる。

5 なお、マイクロフライアイ 2 3 1、2 3 2、2 7 1、2 7 2、及び回折光学素子 2 5 1 ~ 2 5 3、2 7 5 を形成するための基板の材料としては、石英ガラスや蛍石、フッ素がドーブされた石英ガラスを用いることができる。なお、エッチングの精度を考慮すると、基板材料としては、石英ガラスまたはフッ素がドーブされた石英ガラスを用いることが好ましい。また、照明光として F₂ レーザの波長（1 5 7 n m）を用いる際には、基板材料としてフッ素がドーブされた石英ガラスを用いることが好ましい。

05703727 "110200
5 以上の説明では、オブティカルインテグレータとして、2 次元マトリックス状に配列された微小レンズ面を有する波面分割型オブティカルインテグレータ（マイクロフライアイ、フライアイレンズ）を適用した場合について説明したが、オブティカルインテグレータとしては、柱状光学部材の内面反射を用いた内面反射型オブティカルインテグレータ（ロッド型オブティカルインテグレータ、光トンネル、光パイプ）も用いることができる。この場合、
20 図 1 4 A のオブティカルインテグレータ 2 0 7 におけるマイクロフライアイ 2 7 1、2 7 2 とズームコンデンサ光学系 2 0 9 との代わりに、回折光学素子 2 7 5 のファーフールド領域を内面反射型オブティカルインテグレータの光入射面上に形成するための集光光学系と、光射出面が照明視野絞り位置またはその位置の近傍となるように位置決めされた内面反射型オブティカルインテグ
25 レータとを配置すれば良い。この場合には、内面反射型オブティ

カルインテグレータの光入射面の位置の集光点の大きさを回折光学素子 275 により拡大できるため、当該光入射面の損傷を低減できるという効果と、当該光入射面に形成される複数の光源の虚像自体の大きさを回折光学素子 275 により拡大できるため、連続的な σ 値の設定が可能となるという効果もある。

なお、上述の実施形態においては、走査型露光装置を例にとり説明したが、本発明は一括型露光装置にも適用できる。

また、投影光学系の投影倍率は、縮小倍率のみならず、拡大倍率、等倍とすることもできる。さらに投影光学系としては、屈折型光学系、反射屈折型光学系、全反射型光学系のいずれも適用できる。

また、上述の実施形態においては、光源 201 が供給する波長を 248 nm または 193 nm としたが、光源 201 として波長 157 nm の真空紫外域の光を供給する F_2 レーザを用いても良い。

さて、上述の実施形態における各光学部材等を前述したような機能を達成するように、電氣的、機械的または光学的に連結することで、本実施形態に係る露光装置を組み上げることができる。

また、照明系 IL によってマスクを照明し（照明工程）、投影光学モジュール PM1 ~ PM5 からなる投影光学系 PL を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板上に走査露光または一括露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上記実施形態の露光装置を用いて感光性基板（ワーク）としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手

法の一例につき図 2 2 のフローチャートを参照して説明する。

まず、図 2 2 のステップ 3 0 1 において、1 ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 3 0 2 において、その 1 ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソグロフィー工程が実行される。その後、ステップ 3 0 3 において、図 1 に示す露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系（投影光学モジュール）を介して、その 1 ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ 3 0 4 において、その 1 ロットのウエハ上のフォトリソグロフィー工程が実行された後、ステップ 3 0 5 において、その 1 ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、きわめて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

また、上記実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図 2 3 のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。

図 2 3 において、パターン形成工程 4 0 1 では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、いわゆる光リソグロフィー工程が実行される。その光リソグロフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。

09703727-110200

その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルタ形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルタ形成工程402では、R (Red)、G (Green)、B (Blue) に対応した3つのドットの組がマトリックス上に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルタを形成する。そして、カラーフィルタ形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルタ工程402にて得られたカラーフィルタ等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルタ形成工程402にて得られたカラーフィルタとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取りつけて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、きわめて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

このように、本発明は、上述した実施形態に限定されず、本発明の範囲内で種々の変形が可能である。

上述のように本発明によれば、照明光学装置中の光学部材へのダメージを低減でき、または照明光学装置の照明効率の向上を図

れ、また投影露光装置に適用した場合に結像性能の向上を図ることができる。

09703727.110200

WHAT IS CLAIMED IS:

1. 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータであって、

5 前記各微小レンズは、矩形状の入射面および矩形状の射出面を有し、

前記各微小レンズの焦点距離を f とし、各微小レンズの入射面の一方の辺の長さを d_1 とし、前記各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、前記各微小レンズの射出面において前記入射面の一方の辺に対応する辺の長さを D_1 とし、前記各微小レンズの射出面において前記入射面の他方の辺に対応する辺の長さを D_2 とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

5 の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータ。

2. 前記入射面の一方の辺の長さ d_1 は、前記入射面の他方の辺の長さ d_2 より大きく、

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

20 の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載のオプティカルインテグレータ。

3. 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオプティカルインテグレータであって、

25 前記各微小レンズは、矩形状の入射面、および円形状または正六角形状の射出面を有し、

前記各微小レンズの焦点距離を f とし、前記各微小レンズの入射面の一方の辺の長さを d_1 とし、前記各微小レンズの入射面の他方の辺の長さを d_2 とし、前記各微小レンズの円形状の射出面の直径または正六角形状の射出面に外接する円の直径を D とし、

5 前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

$$(d_2/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件のうちの少なくとも一方を満足することを特徴とするオブティカルインテグレータ。

4. 前記入射面の一方の辺の長さ d_1 は、前記入射面の他方の辺の長さ d_2 より大きく、

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とする請求項3に記載のオブティカルインテグレータ。

5. 二次元的に配列された多数の微小レンズを有し、入射光束を波面分割して多数の光源を形成する波面分割型のオブティカルインテグレータであって、

前記各微小レンズは、直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の入射面、および直径が d の円形状または直径が d の円に内接する正六角形状の射出面を有し、

前記各微小レンズの焦点距離を f とし、前記入射光束の波長を λ とするとき、

$$(d/2)^2/(\lambda \cdot f) \geq 3.05$$

の条件を満足することを特徴とするオブティカルインテグレータ。

6. 光源からの光束に基づいて被照射面を照明するための照明光

学装置であって、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記光源からの光束に基づいて多数の光源を形成するための請求項 1 に記載のオブティカルインテグレータと、

- 5 前記オブティカルインテグレータと前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記オブティカルインテグレータによって形成された多数の光源からの光束を被照射面へ導くための導光光学系と、

を備えていることを特徴とする照明光学装置。

7. 前記導光光学系は、

前記オブティカルインテグレータと前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記オブティカルインテグレータによって形成された多数の光源からの光束を集光して照野を重畳的に形成するためのコンデンサー光学系と、

前記コンデンサー光学系と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照野からの光束に基づいて前記被照射面の近傍に前記照野の像を形成するための結像光学系と、

前記結像光学系の光路中において前記多数の光源の形成位置と光学的にほぼ共役な位置に配置されて、不要な光束を遮るための開口絞りと、

を有することを特徴とする請求項 6 に記載の照明光学装置。

8. 前記オブティカルインテグレータ中の各微小レンズは、前記被照射面上においてほぼ均一な照度を得るために、基準光軸に対して平行な軸線に関して対称な非球面状に形成された少なくとも 1 つの屈折面を有することを特徴とする請求項 6 に記載の照明光学装置。

9. 前記オブティカルインテグレータは、前記基準光軸に対して平行な多数の軸線をそれぞれ光軸とする多数の合成光学系を有し、

前記非球面状に形成された少なくとも1つの屈折面は、前記合成光学系におけるコマ収差の発生を良好に抑えるために、所定の非球面状に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の照明光学装置。

10. 前記オブティカルインテグレータの入射側に隣接して、前記被照射面上における照度ムラを補正するために所定の光透過率分布を有するフィルタが配置され、

前記オブティカルインテグレータと前記フィルタとに接続されて、前記オブティカルインテグレータと前記フィルタとを位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることを特徴とする請求項8に記載の照明光学装置。

11. 前記オブティカルインテグレータの射出面に隣接して、開口部の大きさを変化させることができる虹彩絞りが配置されていることを特徴とする請求項8に記載の照明光学装置。

12. 前記オブティカルインテグレータは、前記基準光軸に沿って間隔を隔てて配置された少なくとも2つの光学要素束を有し、

少なくとも2つの前記光学要素束は、前記非球面状の光学面を有することを特徴とする請求項8に記載の照明光学装置。

13. 少なくとも2つの前記光学要素束は、それぞれ前記軸線に沿って対応する少なくとも2つの微小光学要素からなる多数の合成光学系を有し、

前記合成光学系中のすべての光学面は、互いに同じ性状を有する非球面状に形成されていることを特徴とする請求項12に記載の照明光学装置。

14. 少なくとも2つの前記光学要素束に接続されて、少なくとも2つの前記光学要素束を互いに位置合わせするための位置合わせ手段を備えていることを特徴とする請求項12に記載の照明光学装置。

5 15. 前記オブティカルインテグレータは、1000以上の前記軸線を有することを特徴とする請求項8に記載の照明光学装置。

16. 前記オブティカルインテグレータと前記光源手段との間の光路中の位置であって前記被照射面と共役な位置または該位置の近傍に配置されて、前記光源像を拡大させる光源像拡大手段を有することを特徴とする請求項6に記載の照明光学装置。

17. 前記光源像拡大手段を経た光束の発散角は、前記オブティカルインテグレータにおいて前記照明光の損失が生じないように定められることを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。

18. 前記オブティカルインテグレータは、2次元状に配列されて、それぞれが前記光源像を形成する複数のレンズ面を有し、

前記光源像拡大手段は、前記レンズ面を介して形成される前記光源像を拡大し、

20 前記光源像拡大手段の前記発散角は、前記拡大される前記光源像が前記レンズ面よりも小さくなるように定められることを特徴とする請求項17に記載の照明光学装置。

19. 前記オブティカルインテグレータは、2次元状に配列されて、それぞれが前記光源像を形成する複数のレンズ面を有することを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。

25 20. 前記光源像拡大手段のニアフィールドにおける照度分布は実質的に均一であることを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。

09703727.110200

- 2 1. 前記光源像拡大手段のファーフールドに形成されるパターンは一つであることを特徴とする請求項 1 6 に記載の照明光学装置。
- 5 2 2. 前記光源像拡大手段の前記ファーフールドパターンは、円形状、楕円形状、または多角形状であることを特徴とする請求項 2 1 に記載の照明光学装置。
- 2 3. 前記照明光学装置の瞳には、前記瞳上の領域であって光軸を含む瞳中心領域での光強度が該瞳中心領域の周囲の領域よりも小さく設定された光強度分布を有する 2 次光源が形成されることを特徴とする請求項 1 6 に記載の照明光学装置。
- 2 4. 前記光源手段と前記オブティカルインテグレータとの間に配置されて、前記照明光学装置の瞳に形成される 2 次光源の形状を制御するための回折光学素子をさらに有することを特徴とする請求項 1 6 に記載の照明光学装置。
- 5 2 5. 前記 2 次光源の形状を制御するための前記回折光学素子と前記オブティカルインテグレータとの間に配置されて、前記 2 次光源の形状を制御するための前記回折光学素子からの 0 次光を遮光するための 0 次光遮光手段を有することを特徴とする請求項 2 4 に記載の照明光学装置。
- 20 2 6. 前記オブティカルインテグレータは、2 次元的に配列された複数のレンズ面と、該複数のレンズ面の入射側に配置された入射側カバーガラスとを備え、
- 前記 0 次光遮光手段は前記入射側カバーガラスに設けられることを特徴とする請求項 2 5 記載の照明光学装置。
- 25 2 7. 前記光源像拡大手段は、回折光学素子または拡散板を有することを特徴とする請求項 1 6 に記載の照明光学装置。

28. 前記回折光学素子または前記拡散板の表面上には、前記照明光の波長に対する反射防止膜が施されることを特徴とする請求項27に記載の照明光学装置。

5 29. 前記オブティカルインテグレータは、2次元的に配列された複数のレンズ面と、該複数のレンズ面の射出側に配置された射出側カバーガラスとを備え、

該射出側カバーガラスには、前記複数のレンズ面とは異なる領域を通過して前記被照射面側へ向かう光を遮光するための遮光部材が設けられることを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。

30. 前記光源手段と前記被照射面との間の光路中に配置されて、表面に複数のレンズ面が形成された基板からなるマイクロフライアイを備え、

5 該マイクロフライアイの前記レンズ面には、前記照明光に対する反射防止膜が施されることを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。

31. 前記光源手段と前記オブティカルインテグレータとの間に配置されて、前記複数の光源像のフーリエ変換像のそれぞれの強度分布を独立に制御するための照度分布補正手段を備えることを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。

20 32. 前記オブティカルインテグレータは、2次元的に配列された複数のレンズ面と、該複数のレンズ面の入射側に配置された入射側カバーガラスと、前記複数のレンズ面の射出側に配置された射出側カバーガラスとを備え、

25 前記照度分布補正手段は前記入射側カバーガラスと前記射出側カバーガラスとの間の光路中に配置されることを特徴とする請求

項 3 1 に記載の照明光学装置。

3 3 . 前記照明光学装置は、前記被照射面上に所定方向の長さとは該所定方向に直交する方向の長さとは異なる形状の照明領域を形成することを特徴とする請求項 1 6 に記載の照明光学装置。

- 5 3 4 . 前記反射防止膜は、フッ化アルミニウム；フッ化バリウム；フッ化カルシウム；フッ化セリウム；フッ化セシウム；フッ化エルビウム；フッ化ガドミウム；フッ化ハフニウム；フッ化ランタン；フッ化リチウム；フッ化マグネシウム；フッ化ナトリウム；クリオライト；チオライト；フッ化ネオジウム；フッ化鉛；フッ化スカンジウム；フッ化ストロンチウム；フッ化テルビウム；フッ化トリウム；フッ化イットリウム；フッ化イッテルビウム；フッ化サマリウム；フッ化ジスプロシウム；フッ化プラセオジウム；フッ化ユーロビウム；フッ化ホルミウム；フッ化ビスマス；ポリテトラフルオロエチレン，ポリクロロトリフルオロエチレン，ポリフッ化ビニル，フッ化エチレンプロピレン樹脂，ポリフッ化ビニリデン，及びポリアセタールからなる群から選択された少なくとも 1 つの材料からなるフッ素樹脂；酸化アルミニウム；酸化シリコン；酸化ゲルマニウム；酸化ジルコニウム；酸化チタン；酸化タンタル；酸化ニオブ；酸化ハフニウム；酸化セリウム；酸化マグネシウム；酸化ネオジウム；酸化ガドリニウム；酸化トリウム；酸化イットリウム；酸化スカンジウム；酸化ランタン；酸化プラセオジウム；酸化亜鉛；酸化鉛；酸化シリコンの群から選ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；及び酸化ハフニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；酸化アルミニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；から選ばれた 1 種類以上の

09703727.1.10200

成分を有することを特徴とする請求項 28 に記載の照明光学装置。

35. 前記光源手段は、波長 200 nm 以下の照明光を供給することを特徴とする請求項 16 に記載の照明光学装置。

5 36. 前記回折光学素子または前記マイクロフライアイは、フッ素がドーピングされた石英ガラスを有することを特徴とする請求項 35 に記載の照明光学装置。

37. 光源からの光束によって被照射面を照明するための照明光学装置であって、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置された複数の光学的要素を含み、

少なくとも 1 つの前記光学的要素は、前記少なくとも 1 つの前記光学的要素に設けられて、前記少なくとも 1 つの光学的要素を光学的に位置合わせするための位置合わせ手段を備えることを特徴とする照明光学装置。

5 38. 前記位置合わせ手段は、前記光源を前記被照射面との間の光路外に設けられることを特徴とする請求項 37 に記載の照明光学装置。

39. 光源からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置であって、

20 前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、表面に複数のレンズ面が形成された基板を有するマイクロフライアイと、

前記マイクロフライアイと前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記マイクロフライアイからの光束を前記被照射面または前記被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサ光学系と、

25 を備え、

前記マイクロフライアイの前記レンズ面には、前記照明光に対
する反射防止膜が施されることを特徴とする照明光学装置。

40. 光源からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置であ
って、

5 前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、表面に
複数のレンズ面が形成された基板を有するマイクロフライアイと、

前記マイクロフライアイと前記被照射面との間の光路中に配置
されて、前記マイクロフライアイからの光束を前記被照射面また
は前記被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサ光学
系と、

前記マイクロフライアイの射出側に配置されて、前記照明光を
透過させる材料で形成された射出側保護部材と、

を備え、

前記射出側保護部材は、前記射出側保護部材に設けられて、前
記マイクロフライアイの前記複数のレンズ面とは異なる領域を通
過して前記被照射面側へ向かう光を遮光するための遮光部材を有
することを特徴とする照明光学装置。

41. 前記オプティカルインテグレータは、前記マイクロフライ
アイの入射側に配置された入射側カバーガラスを備えることを特
徴とする請求項40に記載の照明光学装置。

42. 第1面に配置されるマスク上のパターン像を、第2面に
配置される感光性基板上に形成する投影光学系を備えた露光装置
と組み合わせることが可能であり、かつ光源からの光束によって
前記第1面を照明するための照明露光装置であって、

25 前記光源と前記第1面との間に配置されて、前記光源からの前
記光束を分割して、該分割された多数の光束を所定面上の領域で

05703727-110200

ある照野上で重畳させる多数光束重畳手段と、

前記多数光束重畳手段と前記第 1 面との間に配置されて、前記第 1 面上または前記第 1 面近傍に前記照野の像を形成する照明結像光学系と、

5 を備え、

前記照明結像光学系は、前記投影光学系の瞳と光学的に共役な位置に配置された開口絞りを有することを特徴とする照明光学装置。

43. マスクのパターンを感光性基板上で投影露光する露光装置であって、

請求項 6 に記載の照明光学装置を備え、

前記被照射面は、前記感光性基板上に設定されることを特徴とする露光装置。

44. 第 1 面上に配置されたマスクのパターンを第 2 面上に配置されるワーク上へ転写する露光装置であって、

前記第 1 面を照明するための請求項 8 に記載の照明光学装置と、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、前記マスクのパターンを前記ワーク上へ投影露光するための投影露光装置と、

20 を備え、

前記照明光学装置は、前記光源と前記オブティカルインテグレートとの間の光路中に配置されて、前記オブティカルインテグレートへ入射する光束の光強度分布を変更するための光強度分布変更手段をさらに備えていることを特徴とする露光装置。

25 45. パターンが形成されたマスクを所定波長域の照明光で照明して、前記パターンの像を投影光学系を介して基板上に結像させ

09703727-110200



る露光装置において、

前記マスクに対して前記照明光を供給するために請求項 16 に記載の照明光学装置を備えることを特徴とする露光装置。

46. 前記マスク上の照明領域は、所定方向の長さと同所定方向
5 に直交する方向の長さとは異なる形状を有し、

前記マスクと前記照明領域との相対的な位置関係を変更しつつ露光を行うことを特徴とする請求項 45 に記載の露光装置。

47. パターンが形成されたマスクを所定波長域の照明光で照明して、前記パターンの像を投影光学系を介して基板上に結像させる露光方法において、

請求項 16 に記載の照明光学装置を用いて前記マスクに対して前記照明光を供給することを特徴とする露光方法。

48. 被観察物体の像を形成する観察装置において、

前記被観察物体を照明するための請求項 6 に記載の照明光学装置と、

前記被観察物体と前記像との間に配置されて、前記被観察物体を経由した光に基づいて前記被観察物体の前記像を形成するための結像光学系と、

を備えることを特徴とする観察装置。

49. 光源からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置であ
20 って、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記光源からの光束に基づいて二次光源を形成するためのオブティカル
25 インテグレータと、

前記オブティカルインテグレータと前記被照射面との間に配置されて、前記オブティカルインテグレータからの光束を前記被照

09703727-110200

射面または前記被照射面と光学的に共役な面へ導くためのコンデンサ光学系と、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置された回折光学素子と、

5 を有し、

前記回折光学素子の表面には、前記照明光に対する反射防止膜が施されることを特徴とする照明光学装置。

50. 前記反射防止膜は、フッ化アルミニウム；フッ化バリウム；フッ化カルシウム；フッ化セリウム；フッ化セシウム；フッ化エルビウム；フッ化ガドミウム；フッ化ハフニウム；フッ化ランタン；フッ化リチウム；フッ化マグネシウム；フッ化ナトリウム；クリオライト；チオライト；フッ化ネオジム；フッ化鉛；フッ化スカンジウム；フッ化ストロンチウム；フッ化テルビウム；フッ化トリウム；フッ化イットリウム；フッ化イッテルビウム；フッ化サマリウム；フッ化ジスプロシウム；フッ化プラセオジム；フッ化ユーロビウム；フッ化ホルミウム；フッ化ビスマス；ポリテトラフルオロエチレン，ポリクロロトリフルオロエチレン，ポリフッ化ビニル，フッ化エチレンプロピレン樹脂，ポリフッ化ビニリデン，及びポリアセタールからなる群から選択された少なくとも
20 も 1 つの材料からなるフッ素樹脂；酸化アルミニウム；酸化シリコン；酸化ゲルマニウム；酸化ジルコニウム；酸化チタン；酸化タンタル；酸化ニオブ；酸化ハフニウム；酸化セリウム；酸化マグネシウム；酸化ネオジム；酸化ガドリニウム；酸化トリウム；酸化イットリウム；酸化スカンジウム；酸化ランタン；酸化プラセオジム；酸化亜鉛；酸化鉛；酸化シリコンの群から選ばれた 2
25 つ以上の材料からなる混合物群及び複合化合物群；及び酸化ハフ

ニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複
化合物群；酸化アルミニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料
からなる混合物群及び複化合物群；から選ばれた 1 種類以上の
成分を有することを特徴とする請求項 4 9 に記載の照明光学装置。

- 5 5 1. 前記反射防止膜は、フッ化アルミニウム；フッ化バリウム；
フッ化カルシウム；フッ化セリウム；フッ化セシウム；フッ化エ
ルビウム；フッ化ガドミウム；フッ化ハフニウム；フッ化ランタ
ン；フッ化リチウム；フッ化マグネシウム；フッ化ナトリウム；
クリオライト；チオライト；フッ化ネオジム；フッ化鉛；フッ化
0 5 スカンジウム；フッ化ストロンチウム；フッ化テルビウム；フッ
化トリウム；フッ化イットリウム；フッ化イッテルビウム；フッ
化サマリウム；フッ化ジスプロシウム；フッ化プラセオジム；フ
ッ化ユーロビウム；フッ化ホルミウム；フッ化ビスマス；ポリテ
5 トラフルオロエチレン，ポリクロロトリフルオロエチレン，ポリ
フッ化ビニル，フッ化エチレンプロピレン樹脂，ポリフッ化ビニ
リデン，及びポリアセタールからなる群から選択された少なくとも
も 1 つの材料からなるフッ素樹脂；酸化アルミニウム；酸化シリ
コン；酸化ゲルマニウム；酸化ジルコニウム；酸化チタン；酸化
タンタル；酸化ニオブ；酸化ハフニウム；酸化セリウム；酸化マ
グネシウム；酸化ネオジム；酸化ガドリニウム；酸化トリウム；
酸化イットリウム；酸化スカンジウム；酸化ランタン；酸化プラ
セオジム；酸化亜鉛；酸化鉛；酸化シリコンの群から選ばれた 2
20 つ以上の材料からなる混合物群及び複化合物群；及び酸化ハフ
ニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料からなる混合物群及び複
化合物群；酸化アルミニウムの群から選ばれた 2 つ以上の材料
25 からなる混合物群及び複化合物群；から選ばれた 1 種類以上の

09703727.110200

成分を有することを特徴とする請求項 39 に記載の照明光学装置。

52. 前記多数光束重畳手段は、前記光源からの前記光束を波面分割することを特徴とする請求項 42 に記載の照明光学装置。

09703727-110200

